

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет конструювання та дизайну**

УДК 62-253:621.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
надійності техніки**

А.В.Новицький

“ ___ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**Оптимізація режиму роботи
зварювального робота**

Спеціальність: 133 – галузеве машинобудування

**Магістерська програма – робототехнічні системи і комплекси
сільськогосподарського виробництва**

Програма підготовки - освітньо-професійна

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

к.т.н., доц.

Ружи́ло З.В.

Виконав:

Вондрак М.О.

Київ-2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет конструювання та дизайну**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

к.т.н. доц.

_____ **Новицький А.В.**

–25” листопада 2023 року

ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Вондраку Марку Олександровичу

Спеціальність **133** Галузеве машинобудування

Освітня програма **робототехнічні системи і комплекси**

сільськогосподарського виробництва

Тема роботи: **«Оптимізація режиму роботи зварювального робота»**, затверджена
наказом по вузу від 29.12.2023 р. № 2400 «с»

Термін подачі завершеної роботи на кафедру: 15.10.24

Вихідні матеріали до виконання роботи:

1. Технологічний процес зварювання металевих поверхонь автоматизованими та роботизованими комплексами.
2. Завдання на проектування.
3. Результати науково-дослідних робіт по вивченню характеристик зварювальних робіт.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

1. **КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА** **ХАРАКТЕРИСТИКА**
ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТІВ (функціональне призначення, конструкція, технологія виготовлення).
2. **ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ**

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНА ПІДГОТОВКА РОБОЧОГО ПОСТА ЗВАРЮВАННЯ.
4. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ДІЛЬНИЦІ ЗВАРЮВАННЯ.
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБОТІВ.

ВИСНОВКИ

ЛІТЕРАТУРА

3. Перелік ілюстративного матеріалу

Презентаційний матеріал

Дата видачі завдання — _____ ” _____ 20__ р.

Керівник магістерської роботи _____

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

Реферат.....	4
Зміст.....	5
Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Вихідні дані для магістерської кваліфікаційної роботи	8
1.1. Історичні аспекти виникнення процесу зварювання	8
1.2. Класифікація видів зварювання	12
1.3. Класифікація промислових робіт	23

1.4. Види зварювальних робіт
25

1.5. Задачі магістерської роботи.....
28

РОЗДІЛ 2. Техніко-технологічні основи роботизованого

зварювання
29

2.1. Технологічні переваги зварювання деталей.....
29

2.2. Особливості вибору обладнання для зварювання
30

2.3. Роботизовані зварювальні системи
32

2.3.1. Що таке роботизоване зварювання
32

2.3.2. Переваги роботизованого зварювання
33

2.3.3. Недоліки зварювальних робіт
35

2.3.4. Вибір роботизованої зварювальної системи
35

2.3.5. Майбутнє зварювальних робіт
44

РОЗДІЛ 3. Дослідження параметрів керування зварювального робота ..

3.1. Процес автоматизованого керування
45

3.2. Автоматичне керування струмом зварювання
52

РОЗДІЛ 4. Технологічна частина.....

61

4.1. Дефекти зварювальних швів та способи їх усунення

61

4.2. Профілактичне обслуговування зварювального робота

71

РОЗДІЛ 5. Вдосконалення роботизованого комплексу

74

5.1. Основні технічні характеристики зварювального робота

74

5.2. Зварювальний пальник ABICOR BINZEL ABIROB A360

75

5.3. Станція очищення пальника

76

5.4. Позиціонер виробів

77

5.5. Розробка модуля переміщення робота

78

5.6. Планування роботизованого зварювального поста

79

РОЗДІЛ 6. Безпека праці при виконанні зварювальних робіт

81

6.1. Види та причини травматизму

81

6.2. Охорона праці при дуговому зварюванні

84

6.3. Комплект двохпроменевого фотоелектричного бар'єру для системи

безпеки оператора	
87	
РОЗДІЛ 7. Економічне обґрунтування роботи.....	
88	
Висновок.....	
91	
Перелік	ілюстративного
матеріалу.....	92
Література.....	
93	

ВСТУП

Ефективність виробництва сільськогосподарської техніки визначається ступенем автоматизації та механізації технологічних процесів. Одним із перспективних напрямків розвитку машинобудування є роботизація технологічних процесів і зокрема впровадження зварювальних робіт.

Зварювальні роботи, відомі як "промислові кравці", відіграють незамінну роль у світовому промисловому виробництві. За неповною статистикою, на зварювальних роботах припадає більше 40% від загальної кількості робіт. Як дуже важливий метод обробки у промисловому виробництві, робоче середовище для зварювання є дуже суворим, зазвичай з великою кількістю диму, дуги та бризок металу. Однак якість зварювання відіграє вирішальну роль у якості продукції. Тому органічне поєднання зварювання та робіт може вирішити проблеми більшості виробників - низька ефективність зварювання, погана якість зварювання та складний підбір персоналу.

Роботизовані зварювальні системи забезпечують швидкість, точність і повторюваність технологічних операцій при виготовленні металоконструкцій, що може підвищити продуктивність і стабільність, а також скоротити невиробничі витрати на виправлення дефектів.

Можливість економії - основна причина, через яку багато компаній вкладають кошти в автоматизацію.

Брак кваліфікованих зварників також сприяє впровадженню автоматизованого зварювання.

У зв'язку з цим дана магістерська робота присвячена вдосконаленню технологічного процесу виконання зварювальних робіт з використанням роботів.

Метою її є підвищення ефективності виконання зварювальних робіт шляхом роботизації.

РОЗДІЛ 1. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1.1. Історичні аспекти виникнення процесу зварювання.

Процес зварювання з'явився ще в [бронзовій добі](#), коли людина почала набувати досвід обробки [металів](#) для виготовлення [знарядь праці](#), бойової [зброї](#), [прикрас](#) та інших виробів.

Першим відомим способом зварювання є [ковальське](#). Воно забезпечувало достатньо високу, на той час, якість з'єднання, особливо при роботі з [пластичними металами](#), такими, як [мідь](#). Із винайденням [бронзи](#), яка є [твердішою](#) і гірше піддається [куванню](#), виникло [ливарне зварювання](#). Під час ливарного зварювання крайки з'єднаних [деталей](#) заформовують спеціальною сумішшю і заливають розігрітим рідким металом. Цей присадковий метал сплавляється з виробом і, застигаючи, утворює [шов](#). Такі з'єднання знайдені на бронзових посудинах [Стародавньої Греції](#) та [Риму](#). Зварювання було використано під час побудови [Залізного стовпа в Делі, Індія](#)^[1].

У 1802 році російський академік [Василь Петров](#) звернув увагу на те, що при пропусканні [електричного струму](#) через два прутики з [вугілля](#) або металу між їхніми кінцями виникає яскрава дуга ([електричний розряд](#)), яка має дуже високу температуру. Він дослідив та описав це явище, а також указав на можливість використання тепла [електричної дуги](#) для розплавлення металів і тим самим заклав основи [дугового зварювання](#) металів.

Але існують відомості про те, що англійський хімік [сер Гемфрі Деві](#) в 1800 першим дослідив електричну дугу і описав можливе застосування її в промисловості.

В той час результати досліджень Василя Володимировича Петрова не були використані, ні в [Росії](#), ні за кордоном. Лише через 80 років інженери — [Микола Миколайович Бенардос](#) і [Микола Гаврилович Слав'янов](#) застосували відкриття Петрова на практиці та розробили різні промислові способи зварювання металів електричною дугою.

Микола Бенардос у 1882 році винайшов спосіб дугового зварювання із застосуванням [вугільного електрода](#). У наступні роки він розробив наступні методи зварювання: дугою, яка горить між двома або декількома [електродами](#);

в атмосфері [захисного газу](#); [контактне](#) точкове електрозварювання за допомогою кліців. Створив ряд конструкцій [зварювальних автоматів](#), [запатентував](#) у Росії та за кордоном велику кількість різних винаходів у галузі зварювального устаткування та процесів зварювання.

Автором методу дугового зварювання [металевим плавким електродом](#), найпоширенішого в наш час, є Микола Слав'янов, який розробив його в 1888 році. Через два роки американський інженер [Чарльз Гофін](#) повторив відкриття і запатентував метод дугового зварювання плавким металевим електродом на території [США](#).

Микола Слав'янов не лише винайшов дугове зварювання металевим електродом, описав його у своїх статтях і запатентував у різних країнах світу, але й сам широко впроваджував його в практику. За допомогою навчених ним робітників-зварювальників Слав'янов виправляв дуговим зварюванням брак лиття та відновлював деталі [парових машин](#) і різного великого устаткування. Він створив перший [зварювальний генератор](#) з автоматичним регулятором довжини зварювальної дуги, розробив [флюси](#) для підвищення якості наплавленого металу при зварюванні. Роботи Бенардоса і Слав'янова є основою сучасних методів електричного зварювання металів.

У 1900 році англієць [Артур Стрехменхер](#) почав промисловий випуск покритих металевих електродів зі стійкішою під час горіння дугою. В 1919 році англієць [Клод Джозеф Холсланг](#) винайшов джерело змінного струму, яке забезпечувало стійкіше горіння дуги, але в промисловості цей винахід на десятиліття забутий.

Родоначальник [контактного зварювання](#) — англійський фізик [Вільям Томсон](#) ([лорд Кельвін](#)), який уперше застосував стикове зварювання в 1856 році. В 1877 у США [Еліх Томсон](#) самостійно розробив стикове зварювання і впровадив його в промисловість. В тому ж році в Росії Микола Бенардос запропонував способи контактного точкового і шовного (роликового) зварювання. На промисловій основі в Росії контактне зварювання

запроваджено в 1936 році, після освоєння серійного випуску контактних зварювальних машин.

[Ацетилен](#), винайдений 1836 року [Едмундом Деві](#), почав використовуватися як горючий агент при [газовому зварюванні](#) з 1900 року, водночас із винаходом [газового пальника](#).

Бурхливий розвиток зварювальних технологій і обладнання почався за часів [Першої світової війни](#). Британці почали використовувати зварювальні процеси при побудові військових кораблів із суцільнозварними корпусами.

Упродовж 1920-х років головні акценти в зварювальних технологіях ставилися на розвиток автоматичного зварювання. Великий внесок у розвиток різноманітних видів зварювання вніс [академік Євген Оскарович Патон](#) та фахівці [Інституту електрозварювання](#), які вперше у світі розв'язали складні наукові і технічні завдання, пов'язані з автоматичним зварюванням [броні](#), розробили досконалу технологію і необхідне обладнання. Було досліджено процеси, що відбуваються у потужній зварювальній дузі, яка горить під флюсом, розроблено нові зварювальні флюси і знайдено місцеву сировину для їх масового виробництва. Широко проводився пошук способів багатодугового та багатоелектродного автоматичного зварювання під флюсом, розроблено технологію напівавтоматичного зварювання під флюсом, створено перші зварювальні напівавтомати.

Застосування автоматичного зварювання в [оборонній промисловості](#) дало винятково великий ефект і забезпечило можливість різкого збільшення випуску [бойових машин](#), [боєприпасів](#) і [озброєння](#) високої якості. В умовах воєнного часу застосування автоматичного зварювання під флюсом для виробництва техніки стало вирішальним чинником різкого нарощування обсягів виробництва у стислі терміни. В роки [війни](#) в жодній країні, окрім [Радянського Союзу](#), автоматичне зварювання під флюсом у [танковій](#) промисловості не застосовувалося. Лише в останні воєнні роки за прикладом СРСР почали освоювати цей спосіб при виготовленні бронекорпусів танків і [самохідних артилерійських установок](#) у США.

[Борису Патону](#) було доручено розробити електричну схему нових автоматичних [зварювальних головок](#), що реалізують відкрите в 1942 році Володимиром Дятловим явище саморегулювання дуги. З цим завданням молодий [інженер](#) упорався блискуче. Винятково проста конструкція, надійність і зручність у роботі не лише дали змогу випускати нові головки в умовах простих механічних майстерень, а й вирішували проблему кадрів при їх експлуатації. Як відзначав у своїх спогадах Євген Патон, «пробний пуск першої нової головки відбувся у листопаді 1942-го, а до кінця війни вона вже зварила сотні кілометрів швів на бортах бойових машин. Починаючи з січня наступного року ми встановлювали на всіх нових верстатах тільки спрощені одномоторні головки А-80, виготовлені в майстернях інституту. Вони переможно вирушили по всіх заводах військової промисловості і відіграли величезну роль у випуску продукції для фронту. Це був поворотний момент у поширенні швидкісного зварювання на оборонних підприємствах країни». В 1943 році Борис Патон одержав свій перший орден «Знак Пошани».

Зварювання повсюдно витіснило спосіб нероз'ємного з'єднання деталей за допомогою заклепок.

На сьогодні зварювання є найрозповсюдженішим способом з'єднання деталей при виготовленні металоконструкцій. Широко застосовується зварювання в комплексі з [литтям](#), [штампуванням](#) і спеціальним [прокатом](#) окремих елементів заготовок виробів, майже повністю відтіснивши складні та дорогі суцільнолиті та суцільноштамповані заготовки.

1.2. Класифікація видів зварювання

Зварювання вважається однією з найбільш поширених технологій в сфері металообробки. Даний процес полягає у формуванні міжатомних зв'язків, в результаті пластичного деформування або нагріву деталей, що зварюються, а також спільному впливі одного і другого. Для забезпечення [зварюваності](#) двох частин матеріалу необхідно зблизити їх

настільки, щоб створити можливість для утворення міжатомних зв'язків. Це можливо в тому випадку, коли атоми двох частин матеріалу зближуються на відстань, меншу ніж $4 \cdot 10^{-10}$ м. Такі умови можна створити трьома шляхами:

- стисненням деталей без термічної обробки,
- нагріванням до пластичного стану та одночасним стисненням деталей,
- нагріванням матеріалу до розплавлення.

Стисненням без нагрівання можна зварювати в окремих випадках лише пластичні метали: алюміній, мідь, свинець, тощо. Це так зване «холодне» зварювання.

Другий спосіб застосовується для металів і сплавів, які здатні переходити в пластичний стан при нагріванні до температур, нижчих від температури плавлення (сталь, алюміній тощо), що дозволяє здійснювати зварювання в пластичному стані шляхом стиснення двох попередньо нагрітих частин металу. При стисненні оксидна плівка на поверхнях дотику руйнується і стає можливим взаємопроникнення (дифузія) кристалічних зерен однієї частини в зерна іншої, що забезпечує їх зварювання. З підвищенням температури нагрівання величина зусилля, потрібного для стиснення, зменшується.

Третій спосіб — зварювання плавленням, при якому стиснення деталей не потрібне. Цим способом можна зварювати всі метали і сплави, в тому числі і такі, які при нагріванні не переходять у пластичний стан, а відразу переходять в рідкий стан (чавун, бронза, литі сплави алюмінію, магнію тощо).

Найчастіше зварювання використовують для з'єднання між собою металевих деталей. Але її можна застосовувати і для різних видів полімерних матеріалів, кераміки та їх поєднання. Роботи можуть проводитися від різних джерел живлення.

Механічне. Здійснюється без нагріву, під впливом великого питомого тиску. До даного класу зварювання відносяться – ультразвукова, холодна, тертям, магнітно-імпульсна, вибухова.

Термічне. Передбачає сильне нагрівання металу до його розплавлення, при цьому стиснення та тиск не використовуються. Найпоширеніший клас, в

нього входять всі види газової, електронно-променевої, дугового, плазмового, світлової, лазерної і термітного зварювання.

Термомеханічне. Поєднує одночасне стиснення і нагрівання. Включає в себе всі види ковальського, високочастотного, дифузійного та контактного зварювання.

Крім цього показника, класифікація видів зварювання поділяється і за іншими параметрами, наприклад:

- Рівень механізації;
- Спосіб захисту металу, в місці зварного з'єднання;
- Безперервність роботи;
- Який тип електродів використовується (плавляться та не плавляться);
- Полярність і рід зварювального струму;
- Форма з'єднання та інші.

За перерахованим вище параметрам здійснюється поділ наступних видів зварювання – газового, електрошлакового, електродугового та контактного, згідно стандарту. В цілому, налічується понад 150 способів і типів зварювальних процесів, але ми розглянемо тільки основні види зварювання.

При класифікації^[5] [процесів](#) зварювання виділяють три основних фізичних ознаки:

- форма енергії, яка вводиться в зону зварювання;
- наявність [тиску](#);
- вид інструмента — носія енергії.

Інші ознаки умовно відносять до технічних та технологічних.

За видом [енергії](#), що вводиться у виріб основні зварювальні процеси поділяють на:

- термічні (Т)
- термомеханічні (Т М)
- термопресові (ТП)
- механічні (М)
- пресово-механічні (ПМ).

Форма енергії, що застосовується в джерелі енергії для зварювання (електрична, хімічна та ін.), як класифікаційна ознака не використовується, тому що вона характеризує головним чином не процес, а [обладнання для зварювання](#).

Всі відомі в даний час процеси зварювання відбуваються за рахунок уведення двох видів енергії — [термічної](#) та [механічної](#), або їх сполучення.

За [агрегатним станом](#) матеріалу в [зоні зварювання](#) всі способи поділяються на зварювання [плавленням](#) або [тиском](#). При зварюванні плавленням характерна відсутність зовнішніх стискуючих зусиль. При зварюванні тиском обов'язковим є стискання.

Класифікація зварювання металів регламентована за фізичними, технічними і технологічними ознаками. За фізичними ознаками всі способи зварювання об'єднані в три класи:

- Термічний клас: види зварювання, здійснювані плавленням з використанням теплової енергії — газове, дугове, електронно-променеве, лазерне тощо.
- Термомеханічний клас: види зварювання, здійснювані з використанням теплової енергії і тиску — контактне, дифузійне, газо- і дугопресове, ковальське тощо.
- Механічний клас: види зварювання, здійснювані з використанням механічної енергії — холодне, тертям, ультразвукове, вибухом тощо.

Головна роль [дугового розряду](#) — перетворення [електричної енергії](#) в теплоту. При температурі близько 5500°C [газ](#) у [розряді](#) є сумішшю [іонізованих часток](#). Характер дугового розряду залежить від присадочного металу, основного металу, захисного середовища, параметрів [електричного кола](#) та інших факторів.

Ручне дугове зварювання

Ручне дугове зварювання є найпоширенішим видом електрозварювання, застосовується для зварювання м'якої та легованої [сталей](#), [чавуну](#), [нержавіючих сталей](#), у деяких випадках [кольорових](#)

[металів](#). [Електрод](#) має вигляд стрижня діаметром 1,5—10 мм, закріплений в ручному [електродотримачі](#).

При дотику електрода до металевої зварної деталі, замикається електричне коло і його кінець нагрівається. Якщо потім електрод відвести на 3—5 мм від деталі, то встановлюється [дуговий розряд](#), за рахунок якого далі підтримується [струм](#). Інтенсивне локальне нагрівання викликає розплавлення основного металу (металу деталі) поблизу дуги розряду. Кінець електрода теж плавиться, і метал електрода вливається в розплавлену [«зварювальну ванну»](#) основного металу.

Зварювальник, стежачи за тим, щоб дуговий проміжок не змінювався, веде електродом уздовж зістиківаних країв зварюваних деталей. При проходженні електрода утворюється розплавлена зварювальна ванна з основного металу і металу електрода, який потім одразу ж кристалізується. В результаті однократного проходження дуги по контуру зварювання утвориться зварювальний валик.

Зварювання під шаром флюсу

Даний процес зварювання аналогічний ручному дуговому зварюванню, але відрізняється тим, що електродом служить дріт, який подається з котушки і підводиться до місця зварювання через шар [флюсу](#), який наноситься у міру просування тримача електрода або [зварювальної головки](#). Саму дугу при цьому не видно. Процес зварювання допускає майже повну автоматизацію і може забезпечувати високу продуктивність при великій товщині зварюваних деталей.

[Швидкість зварювання](#) за такої технології більша, але потрібен час для підготовки деталей до зварювання. Тому зварювання під флюсом економічно виправдане тільки при великому обсязі робіт.

Зварювання плавким електродом

1. Напрямок зварювання
2. Оболонка захисна
3. Дріт зварювальний

4. Газ захисний
5. Ванна рідкого металу
6. [Шов зварний](#)
7. Метал основний

Цей вид зварювання охоплює ряд споріднених технологій, подібних до зварювання під флюсом. Роль флюсу в них відіграє газ, що виходить зі [зварювального сопла](#) та охоплює кінець [електрода](#), [дугу](#) і зварювальну ванну. Можна одержувати різні характеристики дуги, використовуючи [аргон](#), [гелій](#), [вуглекислий газ](#) або суміш перерахованих газів і вводячи при необхідності малі добавки [кисню](#). Головні переваги таких технологій — можливість зварювання [хімічно активних металів](#) ([алюмінію](#), [магнію](#), [нержавіючої сталі](#), [міді](#), [нікелю](#)), чистота, можливість візуального контролю, більша швидкість і можливість зварювання в незручних положеннях. Діапазон товщини — від 0,1 мм до дуже великих. Для сопла може бути передбачене водяне охолодження.

Важливі різновиди такої технології — дугове зварювання методом обпирання і варіанти [імпульсно-дугового зварювання](#). Ці різновиди дозволяють одержувати деякі специфічні характеристики зварювання за рахунок зміни умов перенесення металу через дугу. Вони дають переваги при зварюванні тонких листів у будь-якому просторовому положенні, а також деталей великого поперечного перерізу у вертикальному і навісному положеннях.

Зварювання неплавким електродом

Цей метод відрізняється від попередніх тим, що в ньому використовується короткий [вольфрамовий неплавкий електрод](#). Під дією тепла від дугового розряду плавиться основний метал поблизу дуги. Присадковий метал, якщо він необхідний, підводять окремо у вигляді стрижня або дроту намотаного на [котушки](#). Зона зварювання обдувається ззовні [інертним газом](#) (аргоном або гелієм) для захисту від [атмосферного повітря](#).

Такий метод допускає точний контроль як при ручному, так і при механізованому зварюванні деяких металів

([алюмінію](#), [магнію](#), [нікелю](#), [нержавіючої сталі](#)) і деталей складних контурів. Параметри [зварювальної машини](#) вибираються з урахуванням зварюваного металу і вимог до виробу. Наприклад, при зварюванні алюмінію і магнію зварювальною машиною змінного струму коло зварювального струму повинне доповнюватися високочастотним колом стабілізації дуги, або використовують [джерело струму](#) з більшою напругою розімкненого кола.

Газополум'яне зварювання

Кисневе зварювання

Газополум'яне зварювання — [зварювання плавленням](#), під час якого крайки з'єднаних частин нагрівають полум'ям газів, що спалюються на виході [пальника](#) для газового зварювання. Гази зазвичай підводять до зварювального пальника по [гнучких шлангах](#) від [газових балонів](#) високого тиску, обладнаних [редукційним клапаном](#), що знижує тиск. Зварювальник тримає в одній руці пальник, а в іншій — присадковий прутик. Цей метод особливо підходить для зварювання сталевих [трубопроводів](#) малого діаметра, а також для приєднання [арматур](#) до трубопроводів, ремонтних робіт, пайки-зварювання.

Обладнання для газового зварювання можна використати для розрізання сталевих елементів товщиною 10—15 мм і більше. Існує також спеціальне устаткування для [підводного різання](#). При, так званому різанні [кисневим списом](#), нагріта сталь окислюється і видувається з утвореного вузького прорізу, тонким струменем кисню, який підводиться під високим тиском.

Електрошлакове зварювання

Електрошлакове зварювання — зварювання плавленням, при якому для нагрівання металу використовують тепло, що виділяється при проходженні електричного струму через розплавлений електропровідний [шлак](#).

Плазмове зварювання

Плазмове зварювання — зварювання плавленням, при якому нагрів крайок деталей, які необхідно з'єднати, відбувається за рахунок тепла

потокі [плазми](#), утвореної дуговим розрядом і спрямованої на деталі через сопло.

Електронно-променеве зварювання

Електронно-променеве зварювання — в даному способі зварювання, для нагріву призначених для з'єднання частин використовують енергію [електронного променя](#). Тепло виділяється за рахунок [бомбардування](#) зони зварювання спрямованим електронним потоком.

Лазерне зварювання

Місцеве розплавлення призначених для з'єднання частин при лазерному зварюванні здійснюється енергією [світлового проміння](#), отриманого від оптичного [квантового генератора](#) — [лазера](#).

Термітне зварювання

При термітному зварюванні використовують тепло, яке утворилося внаслідок спалювання [терміту](#) — порошку (суміші [алюмінію](#) і окислів [заліза](#)).

Газове зварювання

При газовому зварюванні використовується тепло полум'я, що утворюється при спалюванні горючого газу в струмені технічного кисню. Найчастіше як горючий газ застосовують [ацетилен](#) C_2H_2 , що при згорянні в атмосфері кисню O_2 дає найвищу температуру — до $3150\text{ }^\circ\text{C}$. Крім того, використовують [водень](#) H_2 , природний і [коксовий газ](#) і пари [газу](#). Ацетилен для газового зварювання одержують розкладенням карбіду кальцію CaC_2 в ацетиленовому газогенераторі. Основним інструментом газового зварювання служить газовий пальник.

Термомеханічний клас

Контактне зварювання

Контактне зварювання — [технологічний процес](#) утворення з'єднання в результаті нагрівання металу пропущеним через нього електричним струмом і пластичної деформації зони з'єднання під дією направленої на стиск зусилля.

За допомогою контактного зварювання виготовляють до 90 % конструкцій, що [зварюють тиском](#), і близько 50 % всіх зварних конструкцій. Це показує переваги контактного зварювання перед іншими способами: висока продуктивність (час зварювання однієї точки або стику становить 0,02...1,0 с), мала витрата допоміжних матеріалів (води, повітря), висока якість і надійність зварених з'єднань при невеликому числі параметрів, за якими потрібно слідкувати, що знижує вимоги до кваліфікації зварника. Це екологічно чистий процес, що легко піддається механізації і автоматизації.

Недоліки контактного зварювання: відносна складність устаткування, труднощі [неруйнівного контролю](#) зварних з'єднань.

Точкове зварювання

При даному методі крайки призначених для з'єднання металевих листів, накладають один на інший з досить великим напуском, щоб можна було стиснути їх двома електродними [стрижнями](#) (з регульованим зусиллям) на час проходження потужного імпульсу струму. Місце контакту двох щільно стиснених поверхонь сильно нагрівається струмом, і в цьому місці вони сплавляються, утворюючи точкове з'єднання. Якщо зварювання виконане правильно, то при тестуванні звареного з'єднання воно руйнується не по зварному шву.

Шовне зварювання

Шовне зварювання проходить так само, як і точкове. Різниця між ними у тому, що при шовному зварюванні деталі затискаються між електродами-роликками, які в процесі зварювання обертаються, переміщаючи зварювані деталі. [Імпульси](#) зварювального струму виникають один за іншим через установлену паузу. Сукупність багатьох точок, що взаємно перекривають одна одну, утворює суцільний зварний шов.

Стикове зварювання

За допомогою стикового зварювання з'єднують прутки, профільний [прокат](#), труби по всій площі їхніх торців. Деталі затискають в електродах-лещатах, потім притискають одну до одної з'єднувальними

поверхнями, і пропускають зварювальний струм. Розрізняють [стикове зварювання опором](#) і [оплавленням](#).

При зварюванні опором деталі притискають із великим [зусиллям](#) (2...5 кгс/мм²). Зварювальний струм нагріває деталі до температури 0,8...0,9 від температури плавлення. У [стику](#) відбувається [пластична деформація](#), з'єднання утворюється без розплавлення металу. Цим способом не завжди вдається забезпечити рівномірне нагрівання деталей великого перетину по всій площі і досить повно виділити зі стику деталей окисні плівки. Тому стикове зварювання опором застосовують тільки для з'єднання деталей малого перетину (до 200...300 мм²): дротів, труб, прутів з низьковуглецевих сталей.

Стикове зварювання безперервним оплавленням труби газопроводу діаметром 1420 мм

При зварюванні оплавленням деталі притискають одна до іншої дуже малим зусиллям при включеному [зварювальному трансформаторі](#). Окремі контакти поверхонь миттєво оплавляються, виникають нові контакти, які оплавляються теж. Під дією електродинамічних сил рідкі прошарки металу оплавлених контактів разом з окислами і забрудненнями викидаються зі стику деталей. Поверхні поступово оплавляються, після чого зусилля стиску різко збільшують — відбувається осад. При цьому протягом 0,1 с через стик ще пропускають струм. Рідкий метал разом із залишковими [окислами](#), витісняється із зони стику в [гат](#) — з'єднання утворюється між твердими, але пластичними поверхнями. При зварюванні оплавленням хімічно активні зони металів у місцях з'єднання захищають [інертними газами](#).

Дифузійне зварювання

При дифузійному зварюванні поверхні, що з'єднуються, стискають і нагрівають (але не до розплавлення металу) у [вакуумі](#). [Зварний шов](#) утворюється в результаті [дифузії](#) одного матеріалу в інший. Застосування такої технології економічно виправдано тільки тоді, коли потрібно виготовляти деталі з дорогих матеріалів ([титану](#), [цирконію](#) тощо) з дуже малими [допусками](#) на [розміри](#). Основні області застосування дифузійного

зварювання — [авіакосмічна](#), [електронна](#), [інструментальна](#) [промисловість](#), [ядерні технології](#).

Ковальське зварювання

Ковальське (горнове) зварювання — найдавніший вид [зварювання стисканням](#). Протягом майже трьох тисячоліть людство широко користувалося [залізом](#), не вміючи його розплавити, тому до заліза не можна було застосовувати давно відоме [ливарне зварювання](#), і було винайдене ковальське зварювання, спосіб, призначений для заліза. Розквіту і розвитку ковальського зварювання надзвичайно сприяв і сам спосіб виробництва заліза, що існував протягом тисячоліть до другої половини XIX сторіччя.

Суть ковальського зварювання полягає в тому, що при [деформуванні](#) відбувається зближення металевих поверхонь, і між атомами [кристалічних ґраток](#) починають діяти потужні сили притягання. У випадку, якщо матеріал має високу [пластичність](#), його можна зводити (зварювати) нагріванням у ковальському [горні](#). При виконанні зварювання до зварювального флюсу можна додати стружку низьковуглецевої сталі: у процесі горіння вона поглинає [вуглець](#), і зварювання виходить при цьому помітно міцнішим.

Механічний клас

Зварювання вибухом

Тепло виділяється локально за рахунок [тертя](#) між з'єднуваними поверхнями. Рух викликається контрольованим [вибухом](#), що з величезною силою стискає контактуючі поверхні. У зоні зварювання відбуваються взаємопроникнення хвилеподібної форми і часткова сплавка. Метод застосовується для плакування таких металів, як [сталь](#), стороннім матеріалом, наприклад [алюмінієм](#).

Зварювання тертям

Розігрів поверхонь відбувається за рахунок обертання деталі навколо іншої, нерухомої, зберігаючи контакт між поверхнями. При наступному

різкому притисненні поверхонь деталей локалізоване нагрівання приводить до їхньої сплавки.

Ультразвукове зварювання

Зварювання відбувається під дією [ультразвукового променя](#) в місці з'єднання попередньо стиснутих деталей. Точковим або безперервним [швом](#) зварюються тонкі алюмінієві і мідні [фольги](#), а також [пластикові плівки](#). Зварювальним інструментом служить ультразвуковий випромінювач, який перетворює електричні коливання в механічні. Використовується для запечатування пакувальної алюмінієвої фольги і пластикової плівки. Виконання швидке і економічне.

Індукційне зварювання

Метал нагрівається пропусканням через нього струмом високої [частоти](#) після чого різко здавлюється. Струми високої частоти найзручніші для введення в метал індукційним безконтактним способом; крім того, вони зручні для концентрації в зоні нагрівання з використанням поверхневого ефекту та ефекту близькості і великого індуктивного опору шунтувальних шляхів. Тому практично завжди використовують струми високої частоти від лампових або машинних [генераторів](#). Найбільше застосування метод знаходить при зварюванні [труб](#).

1.3. Класифікація промислових робіт

Роботи все ширше залучають до виконання різноманітних технологічних процесів. Тому має місце систематизація їх за певними ознаками.

Спосіб управління:

- роботи з програмним управлінням, які працюють за заздалегідь заданою жорсткою програмою (роботи першого покоління);
- роботи з адаптивним керуванням (роботи другого покоління);
- роботи з інтелектуальним управлінням (зі штучним інтелектом) (роботи третього покоління).

Управління рухом по окремим ступенях рухливості може бути безперервним (контурним) і дискретним (позиційним). При дискретному управлінні управління рухом здійснюють, задаючи кінцеву послідовність точок і подальше переміщення по ним кроками від точки до точки. Найпростішим варіантом дискретного управління є цикловоє, при якому кількість точок позиціонування по кожному ступені рухливості мінімальна і найчастіше обмежена двома - початковою і кінцевою координатами.

Призначення робіт

Роботи можна розділити на групи, з яких найбільша - промислові роботи, призначені для автоматизації процесів машинобудування.

У машинобудуванні промислові роботи можна розділити:

- [зварювальні роботи](#) - обслуговування процесів зварювальних робіт;
- складальні - обслуговування процесів складального виробництва;
- мехобробка - обслуговування процесів механічної обробки;
- ливарні - обслуговування процесів ливарного виробництва;
- пресові - для автоматизації штампувального виробництва.

Спеціалізація

Промислові роботи, незалежно від їх призначення, поділяються на три типи:

- універсальні (багатоцільові) роботи призначені для виконання різних операцій і в тому числі для роботи спільно з різними видами ТО;
- спеціалізовані (цільові) роботи мають більш вузьке призначення і здійснюють одну певну операцію (наприклад, зварювання, фарбування, обслуговування устаткування певного виду);
- спеціальні роботи виконують тільки одну конкретну операцію (наприклад, обслуговують конкретну модель технологічного обладнання).

Характер виконуваних операцій

- виробничі (технологічні), які виконують основні операції технологічних процесів і безпосередньо в них беруть участь в якості виробничих або оброблюючих машин (зварювальні, складальні і т.д.);

- підйомно-транспортні (допоміжні);
- універсальні - виконують різнорідні основні і допоміжні технологічні операції.

Тип приводу:

- електричний;
- гідравлічний;
- пневматичний;
- пневмо-гідравлічний.

Вантажопідйомність:

- надлегкі - до 1 кг;
- легкі - до 10 кг;
- середні - до 100 кг;
- важкі - до 1000 кг;
- надважкі - понад 1000 кг.

Вантажопідйомність робота обумовлюється вантажопідйомністю його маніпуляторів. При наявності декількох маніпуляторів вантажопідйомність робота визначається вантажопідйомністю найбільш потужного з них.

Кількість маніпуляторів:

- одноманіпуляторні (однорукі);
- двохрукі;
- трьохрукі;
- чотирирукі.

Швидкість і точність рухів

Ці параметри взаємопов'язані і характеризують динамічні властивості робіт. В робототехніці вони є головними. Швидкодія маніпулятора визначається швидкістю його переміщення по окремим ступеням рухливості.

Швидкодію робіт загального застосування можна розбити на три наступні групи:

- мале - при лінійних швидкостях по окремим ступеням рухливості до 0,5 м/с;

- середнє - при лінійних швидкостях понад 0,5 до 1 м/с;
- високе - при лінійних швидкостях понад 1 м/с.

Більшість сучасних роботів мають середню швидкодiю і тільки 20% їх загального парку - високу швидкодiю. Швидкодiя сучасних роботів є поки недостатньою і потрібно збільшити її принаймні вдвічі. Основні труднощі тут пов'язані з відомим протиріччям між швидкодiєю і точністю.

Точність маніпулятора характеризується результируючою похибкою позиціонування (при дискретному русі) або відпрацюванням заданої траєкторії (при безперервному русі). Найчастіше точність роботів характеризують абсолютною похибкою.

Точність роботів загального застосування підрозділяють на три групи:

- мала - при лінійній похибці від 1 мм і вище;
- середня - при лінійній похибці від 0,1 до 1 мм;
- висока - при лінійній похибці менше 0,1 мм.

Число ступенів рухливості

Число ступенів рухливості - це сума можливих координатних переміщень об'єкта маніпулювання щодо опорної системи.

Спосіб розміщення

Промислові роботи бувають стаціонарні і рухливі (пересувні) і поділяються на підлогові, підвісні (переміщаються по піднятому рейковому шляху) і вбудовані в інше обладнання (наприклад, у верстат, що обслуговується) і т. д.

1.4. Види зварювальних роботів.

Залежно від різних процесів зварювання, зварювальних роботів можна поділити на різні типи:

Робот для дугового зварювання

Робот для дугового зварювання використовує електричну дугу як джерело тепла і використовує фізичне явище розряду повітря для

перетворення електричної енергії в теплову та механічну енергію, необхідну для зварювання, щоб метали могли бути міцно з'єднані. До основних методів дугового зварювання відносяться електродне дугове зварювання, зварювання під флюсом, зварювання з газовим захистом тощо. Це найпоширеніший і найважливіший метод зварювання плавленням, на який припадає понад 60% загального обсягу зварювального виробництва. Роботи для дугового зварювання широко використовуються у багатьох галузях промисловості, таких як загальні машини та металоконструкції.

Робот для зварювання опором

Робот із зварювальним опором - це тип робота, який використовує опірне тепло, що генерується струмом, що проходить через зварний шов, і контакт як джерело тепла для локального нагрівання зварного шва та створення тиску для зварювання. При зварюванні не потрібно ніякого присадочного металу, продуктивність висока, деформація зварного шва невелика, і легко реалізувати автоматизацію. Зварювання опором використовує ефект нагрівання опору, викликаний струмом, що протікає через поверхню контакту заготовки та прилеглу зону, щоб нагріти її до розплавленого або пластичного стану для утворення металевого зв'язку. Існує чотири основні методи зварювання опором, а саме точкове зварювання ([робот точкового зварювання](#)), зварювання швів, проєкційне зварювання та стикове зварювання. З розвитком аерокосмічної, електронічної, автомобільної, побутової техніки та інших галузей промисловості зварювальне зварювання отримало широке застосування.

Зварювальний робот TIG

Зварювальний робот TIG - це ще один важливий тип промислових зварювальних роботів. Зварювання TIG, скорочено зварюванням інертним газом вольфраму, також відоме як дугове зварювання з інертним газом, що не плавиться. Зварювання TIG є найбільш часто використовуваним методом

зварювання, будь то ручне зварювання або автоматичне зварювання з нержавіючої сталі товщиною 0,5-4,0 мм. Спосіб додавання присадочного дроту за допомогою зварювання TIG часто використовується для зварювання знизу посудин під тиском, оскільки герметичність зварювання TIG може зменшити пори зварювання під час зварювання посудини під тиском. Джерелом тепла зварювання TIG є дуга постійного струму, робоча напруга становить від 10 до 95 вольт, але струм може досягати 600 ампер. Правильний спосіб з'єднання зварювального апарату полягає у приєднанні заготовки до позитивного полюса блоку живлення, а вольфрамовий полюс у зварювальному пальнику служить негативним полюсом. Інертним газом зазвичай є аргон. Зварювальні роботи TIG часто використовуються для самостійного зварювання або зварювання присадочного дроту з вуглецевої сталі або нержавіючої сталі та алюмінієвих виробів, таких як турнікети, обмінники, електробокси, медичне обладнання, тренажери, огорожі, резервуари, автозапчастини тощо.

Зварювальний робот MIG

На відміну від зварювання TIG, зварювання MIG (MAG) використовує плавкий зварювальний дріт як електрод і використовує дугове горіння між безперервно подаваним зварювальним дротом та заготовкою, яку потрібно зварювати, як джерело тепла для розплавлення зварювального дроту та основного металу. Під час зварювання захисний газ-аргоновий газ безперервно надходить у зону зварювання через патрубок зварювального пальника, таким чином, щоб дуга, розплавлений басейн та найближчий основний метал були захищені від шкідливого впливу навколишнього повітря. Безперервне плавлення зварювального дроту слід переносити у зварювальний басейн у вигляді крапель, сплавляти з розплавленим основним металом і конденсувати з утворенням металу шва. Зварювальні роботи MIG зараз широко використовуються для зварювання заготовок з алюмінію та алюмінієвого сплаву.

Робот для зварювання лазером

Робот для лазерного зварювання - це тип робота, який використовує сфокусований лазерний промінь як джерело енергії для бомбардування зварювання з виділенням тепла. Оскільки лазер має такі оптичні властивості, як заломлення та фокусування, лазерне зварювання дуже підходить для зварювання мікродеталей та деталей з поганою доступністю. Лазерне зварювання також має характеристики низької тепловіддачі, невеликої деформації зварювання і на нього не впливають електромагнітні поля. Роботи для лазерного зварювання використовуються в таких галузях виробництва, як автомобілі та літаки, переважно для зварювання зубчастих коліс, деталей трансмісії та тонкостінних деталей.

Робот для плазмового зварювання

Це зварювальний робот, який використовує плазмову дугу як джерело тепла для розплавлення з'єднання двох металів. В тому числі зварювання плазмовою дугою змінного струму, плазмодугове зварювання мікропроменем, зварювання плазмовою дугою із зворотною полярністю, імпульсне зварювання плазмовою дугою, зварювання плазмовою дугою з плавленням полюсів тощо. Перевага полягає в тому, що заготовка може зварюватися з обох сторін без жолобків і зазорів, стабільна дуга, концентрована теплота, невелика зона термічного впливу, невелика деформація і висока продуктивність. Він може бути використаний для зварювання вогнетривких, легко окислюваних і термічно чутливих матеріалів, таких як молібден, вольфрам, берилій, хром, тантал, нікель, титан та його сплави, нержавіюча сталь тощо, а також загальна сталь або кольорові металів.

1.5. Задачі магістерської кваліфікаційної роботи

Провівши аналіз існуючих технологій зварювання, методів автоматизації та роботизації виробничих процесів та враховуючи мету досліджень, в магістерській роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- вивчити особливості зварювальних швів, специфіку утворення, основні технологічні дефекти та причини виникнення;
- дослідити переваги та недоліків роботизованого процесу зварювання;
- визначити основні залежності роботизованого зварювання;
- оптимізувати зону роботи зварювального робота;
- розробити заходи по забезпеченню безпечних умов праці при проведенні зварювальних робіт;
- обґрунтувати техніко-економічні показники доцільності проведення роботизованої технології у виробництво.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОБОТИЗОВАНОГО ЗВАРЮВАННЯ

2.1. Технологічні переваги зварювання деталей

Зварювання забезпечує ряд переваг, основні з яких приводиться нижче:

1. Економія металу внаслідок найповнішого використання робочих перетинів елементів зварних конструкцій, додання їм найдоцільнішої форми відповідно до діючих навантажень і зменшення ваги з'єднаних елементів. У зварних конструкціях вага металу зварних швів становить від 1 до 2 %, у той час як у клепаних вага заклепок і косинок — не менш 4 % від ваги виробу. Зварювання дає до 25 % економії металу в порівнянні із клепкою, а в порівнянні з литтям в окремих випадках — до 50 %.

2. Використання зварювання на будівництві будинків дозволяє зменшити вагу сталевих конструкцій на 15 %, полегшує виготовлення й збільшує міцність всієї конструкції. При спорудженні доменних печей застосування зварювання замість клепки дозволяє заощаджувати від 12 до 15 % металу, у конструкціях кроквяних ферм — 10-20 %, у конструкціях піднімальних кранів — 15-20 %.

3. Скорочення строків робіт і зменшення вартості виготовлення конструкцій за рахунок зниження витрати металу та зменшення трудомісткості робіт. Так, наприклад, при будівлі великих доменних печей на металургійних заводах виготовлення кожуха печі зі сталевих листів за допомогою зварювання здійснюється менш ніж за два місяці. Виконання такого кожуха за допомогою клепки вимагає не менше ніж півроку.

4. Можливість виготовлення зварних виробів складної форми зі штампованих елементів замість кування або лиття. Такі конструкції називаються штампозварними і застосовуються в автомобілебудуванні,

авіабудуванні, вагонобудуванні. За допомогою зварювання можна виготовляти деталі з металу, що пройшов різну попередню обробку, наприклад зварювати прокатані профілі зі штампованими литими або кутими заготовками. Можна зварювати і різнорідні метали: нержавіючі сталі з вуглецевими, мідь зі сталлю й ін.

5. Можливість широкого використання зварювання і різання при ремонті, де ці способи обробки металу дозволяють швидко та з найменшими витратами відновлювати зношене або несправне устаткування, і зруйновані спорудження.

6. Здешевлення технологічного устаткування, тому що відповідає необхідності у використанні дорогих свердлильних, діропробивних верстатів і клепальних машин.

7. Герметичність одержуваних зварних з'єднань.

8. Зменшення виробничого шуму та поліпшення умов праці робітників. Зварюванням можна одержати зварні з'єднання із міцністю вищою за міцність основного металу. Тому зварювання широко застосовують при виготовленні досить відповідальних конструкцій, що працюють при високих тисках і температурах, а також при динамічних (ударних) навантаженнях — парових котлів високого тиску, мостів, літаків, гідроспоруд, арматури залізобетонних конструкцій тощо.

2.2. Особливості вибору обладнання для зварювання

Технологія контактного зварювання користується великою популярністю серед зварників, яким доводиться працювати з металевими заготовками, сталевими полотнами, деталями з нержавіючої сталі, міді. Область використання цієї технології досить широка. Обладнання для контактного зварювання встановлюють у приватних майстернях, на виробничих майданчиках, в автосервісах. Модельний ряд обладнання досить широкий. Виробники випускають апарати з різними технічними характеристиками.

Моделі відрізняються ціною, габаритами, функціоналом. Як вибрати апарат для цього виду зварювання, на які критерії звертати увагу при підборі обладнання.

1. Спочатку визначте цілі його використання. Виробники випускають установки для побутового та професійного застосування. Якщо потрібен апарат для будинку, немає сенсу переплачувати за додаткову потужність. А ось якщо передбачається інтенсивна експлуатація обладнання в умовах посилених навантажень - віддайте перевагу продуктивнішій моделі, розрахованій на тривалу, продуктивну роботу.

2. Залежно від типу матеріалу слід вибрати зварювання за величиною потужності. Якщо ви працюєте як з алюмінієм, так і з тугоплавкими металами, тоді слід вибрати апарат, здатний регулювати зварювальний струм у великому діапазоні, який підходить для вас. Якщо ж ви використовуєте лише один вид металу, тоді достатньо стандартного точкового зварювання.

3. Залежно від необхідної міцності та форми зварювальної точки, слід вибрати і тип тримача, в якому закріплюватимуться електроди для контактного точкового зварювання.

4. Необхідно точно знати час, протягом якого машина контактного зварювання повинна взаємодіяти з матеріалом. Від цього залежить безліч факторів: від якості точкового зварювання, до можливості пошкодити заготовку при занадто довгому нагріванні.

5. Слід враховувати і те, з яким тиском кліщі для контактного зварювання можуть давити на деталь. Тут теж слід точно знати, з якими матеріалами ви працюватимете. Одні вимагають більшого тиску, інші слід стискати мінімально.

6. Необхідна швидкість зварювання. Вона залежить від багатьох факторів, включаючи і кількість одночасно можливих зварних точок. Є апарати, які здатні одночасно робити зварювальні точки у кількості більше п'ятисот за одну хвилину.

7. Слід також врахувати вашу робочу зону, якщо вам доведеться переміщатися на досить великі відстані, тоді потрібно купувати зварювальний апарат, який легко піддається транспортуванню. Необхідно враховувати і те, який струм подаватиметься на трансформатор для контактного точкового зварювання, оскільки вони підрозділяються на апарати для змінного та постійного струму.

Підходити до вибору обладнання для контактного зварювання варто з повною серйозністю. Оскільки вартість таких апаратів досить висока - необхідно враховувати усі фактори, щоб згодом покупка принесла вам задоволення при роботі з нею, а не перетворилася на невдалий досвід.

Ретельно підбирайте моделі, враховуючи цілі застосування та умови експлуатації обладнання, вивчайте технічні характеристики апаратів. Ще один важливий фактор при покупці обладнання – вибір надійного постачальника, який може надати вам якісні, сертифіковані апарати та забезпечити їх гарантійне обслуговування.

2.3. Роботизовані зварювальні системи

2.3.1. Що таке роботизоване зварювання?

Роботизоване зварювання — це інша назва автоматизованого зварювання, яке включає одне з двох рішень. Одним з варіантів є повністю автоматизоване зварювання, коли машина направляє метал через весь процес, від початку до кінця. При напівавтоматизованому зварюванні - працівник завантажує метал, а потім видаляє його після завершення процесу. Вони спеціально розроблені для виконання тривалих зварювальних робіт без перерви, а також для скорочення часу на завантаження і розвантаження, а також часу, що витрачається на переміщення від кінцевої точки зварного шва до початку зварювання іншого зварного шва. Допоміжний час, такий як час переміщення точки, час переміщення позиціонера та час виявлення

початкової точки кожного зварного шва, збільшується за рахунок збільшення його ефективного робочого часу (часу дуги) до робочого циклу. Швидкість виникнення дуги ручного напівавтоматичного зварювання - зазвичай становить 35% та 60%, тоді як швидкість дугового розряду повністю автоматизованого робота досягає 80% до 90%, особливо при зварюванні довгих зварних швів товстих пластин із подвійними станціями. Частота дуги може бути близькою до 100%.

Як ми всі знаємо, у робота є рука, яка може рухатися в трьох вимірах для прямолінійних типів і через більше площин з артикуляційними інструкціями. Устрійство подачі дроту надсилає присадковий дріт до робота, оскільки він необхідний для зварювання. Пальник високої температури - на кінці кронштейна розплавляє метал, щоб увімкнути процес зварювання, і температура може досягати тисяч градусів. Таким чином, використання роботів може звести до мінімуму травми при зварюванні, спричинені ручним зварюванням. Роботизоване зварювання може управляти широким спектром зварювальних рішень, таких як дугове зварювання, опорне зварювання, точкове зварювання, зварювання TIG, лазерне зварювання та плазмове зварювання.

2.3.2. Переваги роботизованого зварювання

Роботизоване зварювання має багато позитивних властивостей, які переконали багато зварювальних майстерень вибрати цей процес для зварювальних робіт, і це зварювальне рішення принесло переваги як зварювальній компанії, так і замовнику.

* Підвищена ефективність, робот може працювати в 24 - годинну зміну, тоді як зварювальникам потрібні перерви та відгул, і не дивно, що роботи можуть завершити зварювальні роботи набагато швидше, ніж могли б зварювальники.

* Покращена безпека, роботи зазвичай оснащені вимірювальними приладами для захисту зварників від зварювальної дуги, її високої температури та яскравості. Зменшені проблеми безпеки означають зменшення непотрібних витрат, таких як травми, оплата понаднормової роботи, лікарняні та плинність кадрів.

* Підвищена точність, автоматизований процес дозволяє оператору підтримувати цілісність зварного шва за допомогою електронних контролерів процесу зварювання. Крім того, автоматизовано зварювання дуже повторюване, і роботи послідовно виконують той самий процес. При цьому навіть найдосвідченіший працівник неминуче допускає помилки під час виконання зварювальних робіт.

* Менше відходів, роботи утворюють менше відходів за рахунок мінімізації помилок, а зварювальники зазвичай мають певний відсоток дефектів зварювання, де ми повинні викинути деталі з неремонтними зварними швами.

* Нижча загальна вартість зварювання, роботи можуть зварювати велику кількість деталей, хоча початкові витрати можуть бути високими, і вища продуктивність зварювальних робіт призведе до відшкодувати втрату. Крім того, дуже мало робіт може зробити набагато більше зварювальних робіт, ніж команда професійних зварників. ✓Більша вантажопідйомність у порівнянні з ручним зварюванням, робот має більшу кінцеву вантажопідйомність, щоб підтримувати більш важкий і великий зварювальний пальник для стабільного зварювання. Для ручного зварювання більшість зварювальників (особливо в Азії) можуть виконувати зварювання за допомогою 350 газових - зварювальних пальників протягом розумної години роботи, але зварювальники не можуть працювати занадто довго. Щоб підвищити ефективність виробництва та забезпечити якість зварювання з'єднань, деякі європейські та американські зварники використовують 500 А зварювальні пістолети з водяним охолодженням -, але час їх зварювання короткий. Майстерня завжди може вибрати зварювального

робота з більшою вантажопідйомністю відповідно до потреби роботи та підберіть зварювальний пістолет з водяним охолодженням - з більшою продуктивністю, щоб забезпечити стабільний рух зварювального пальника та стабільність процес зварювання.

2.3.3. Недоліки зварювальних роботів

* Вища вартість налаштування вимагає значних інвестицій для придбання, встановлення, програмування та обслуговування. Хоча в довгостроковій перспективі - роботизоване зварювання додаток може заощадити ваші гроші на витратах на оплату праці. Однак, якщо ваш бізнес не збирається використовувати його регулярно, придбайте автоматизовану систему зварювання можливо, не варто вкладень.

* Завдяки меншій гнучкості, роботи добре працюють для простих, повторюваних завдань, але вони не настільки пристосовані, як ручне зварювання. Коли вам потрібно змінити те, що ви є зварювання, роботи потрібно переналаштувати, що вимагає грошей і часу. Перевага роботів, які працюють точніше, ніж люди, також пов'язана з а недолік, а тим часом зварювальники можуть реагувати на несподівані ситуації так, як роботи не можуть.

* Проблеми з MOQ, для невеликих проектів час, необхідний для програмування роботизованої руки, може бути довшим, ніж процес зварювання, але зварювальник може завершити завдання набагато швидше.

2.3.4. Вибір роботизованої зварювальної системи

Роботизовані зварювальні системи забезпечують швидкість, точність і повторюваність технологічних операцій при виготовленні металоконструкцій, що може підвищити продуктивність і стабільність, а

також скоротити невиробничі витрати на виправлення дефектів. Можливість економії - основна причина, через яку багато компаній вкладають кошти в автоматизацію. Брак кваліфікованих зварників також сприяє впровадженню автоматизованого зварювання.

Однак для того, щоб досягти максимального економічного ефекту недостатньо придбати і встановити робот або роботизовану зварювальну систему (РСС). Нехтування іншими важливими складовими, пов'язаними з функціонуванням РСС, наприклад, вибором зварювального устаткування і матеріалу, а також допоміжного обладнання для збирання і контролю, навчанням оператора, організацією профілактичного обслуговування може призвести до того, що РСС буде працювати не так, як повинна. Роботизована зварювальна система може бути настільки ж ефективною в виробничому циклі, наскільки може виявитися і «слабкою ланкою» і привести до збільшення виробничих витрат за рахунок простоїв і додаткових «доробок» в процесі експлуатації. Для того щоб РСС стала основою для перетворення виробничого процесу, забезпечила виготовлення якісної продукції з мінімальними виробничими витратами достатньо прислухатися до порад інтеграторів, що мають достатні інженерні знання і досвід.

1 Підвищуйте якість підготовчих і складальних робіт під зварювання роботами, заздалегідь продумайте необхідні кроки з модернізації виробництва з метою отримання максимального результату від РСС.

Не варто думати, що установка РСС вирішує проблеми на всіх етапах зварювального виробництва. Для того, щоб отримати максимально очікуваний результат від роботи робота, потрібно бути готовим до модернізації матеріально-технічної бази підприємства, технології зварювального процесу (від підвищення якості заготівельних і складальних робіт, до навчання персоналу тонкощам управління РСС). Спочатку варто переглянути підхід до складальних операцій, визначитися, чи будуть частини деталі, що зварюється схоплені попередньо або НЕ схоплені деталі будуть жорстко зафіксовані в спеціалізованому оснащенні і т. д. Роботів дуже

складно адаптувати до змінних зазорів між зварюваними деталями і до деталей, які не мають повторюваності по геометрії. При дуже низькій якості збірки робот не зможе забезпечити високої якості зварювання, навіть при наявності систем адаптивного управління (системи стеження або технічного зору).

При розробці технології зварювання з використанням робота необхідно враховувати послідовність виконання швів. У зв'язку з можливістю при застосуванні робота з високою точністю підтримувати параметри процесу зварювання допустиме більш точне завдання енергетичних характеристик дуги для отримання швів заданої якості.

Щоб уникнути неприємних сюрпризів і розчарувань в майбутньому, слід передбачити кроки з модернізації заготівельних операцій. Оновлення парку машин плазмового різання, модернізація існуючих пресів і штампів також є важливими етапами переходу на роботизоване виробництво.

2. Правильно вибирайте зварювальне обладнання (джерело живлення, подаючий механізм, пальник) - це ключ до успішної роботи всієї роботизованої системи, а не тільки робота.

Робот не є найважливішим елементом в загальній конструкції системи. Найбільш значущим елементом у виробничій системі на основі роботів є обладнання, яке включає джерело живлення, подаючий механізм і зварювальний пальник (при дуговому зварюванні суцільним або порошковим дротом в середовищі захисного газу). Робот буде здійснювати рух за заданою програмою, навіть якщо зварювальне обладнання працює ненадійно або неправильно, але система буде працювати невірно. В результаті постраждає весь виробничий процес, і кінцевий продукт не буде мати необхідних експлуатаційних характеристик.

Сучасне зварювальне обладнання дає можливість точніше витримувати зазначені технологом режими зварювання, не дозволяє зварювальникам виходити за задані параметри зварювального процесу, як за невмінням, так і усвідомлено. Наприклад, на зварювальних апаратах фірми КЕМРРІ серії

FastMig, X8 MIG Welder і Puls можна запам'ятовувати відпрацьовані інженером-зварювальником режими, обмежуючи діапазон регулювання спеціалістом параметрів зварювання, що забезпечить необхідну якість шва. Програмне забезпечення (сімейство програмних продуктів Wise) цього обладнання вибирає оптимальну вольт-амперну характеристику зварювального джерела в залежності від застосовуваного типу і діаметра зварювального матеріалу, захисного газу, геометрії шва, конструкції виробу для досягнення найкращих результатів при зварюванні.

Інноваційна зварювальна система X8 MIG Welder оптимізує ряд зварювальних процесів: зварювання у вузьку розділку (RGT), зварювання кореня шва труб (WiseRoot +), високопродуктивне зварювання (WiseFusion), зварювання тонколистових матеріалів (WiseThin +), зварювання з низьким розбризкуванням при краплинному перенесенні і стабілізацією дуги в режимі струменевого перенесення. При її використанні можна усувати проблеми, пов'язані з перенесенням металу в дуговому проміжку, і істотно (до 30%) збільшувати продуктивність без збільшення тепловкладення (WiseSteel). Велика потужність джерела живлення - струм до 600А - розширює технологічні можливості зварювальної системи. Функція цифрових технологічних карт з використанням хмарних технологій інтернету полягає в налаштуванні обладнання на необхідний режим, гарантує відсутність помилок зварника. Панель управління можна використовувати як зчитуючий пристрій і засіб збору інформації про технологічні процеси для включення до проектної документації, це дозволяє контролювати процес виробництва відповідно до технологічних карт. Даний апарат легко вбудовується в загальну систему управління роботизованої зварювальної системи, при цьому значно скорочуються терміни її окупності.

Поряд із застосуванням інтелектуального зварювального обладнання не слід випускати з уваги і такий важливий технологічний момент, як вибір відповідного зварювального інструменту і, перш за все, зварювального пальника. Одна з поширених проблем при газовому дуговому зварюванні

дротом - залипання дроту в контактному наконечнику і подальше вигорання наконечника. Як правило, внутрішній діаметр контактного наконечника приблизно на 0,05-0,08 мм більше діаметра дроту, що використовується. Наприклад, контактний наконечник, який використовується з дротом діаметром 1,2 мм, має діаметр близько 1,26-1,28 мм. Під час зварювання діаметр внутрішнього отвору в контактному наконечнику при нагріванні збільшується. Він може стати ще більше через механічне зношування, викликане, наприклад, подачею дроту через нього. Контактні наконечники з великим внутрішнім діаметром можуть змінювати точку передачі зварювального струму (площа контактного наконечника, який передає зварювальний струм зварювального дроту), що призводить до утворення дуги і в підсумку до частіших опіків. Мікроіскрення - явище, яке виникає при недостатньому контакті між внутрішньою поверхнею наконечника і дротом, викликає електричний опір і невеликі дуги на внутрішній поверхні наконечника. Це може привести до зупинки подачі дроту і негативно вплине на стабільності роботи всієї роботизованої системи.

Існує думка, що ця проблема пов'язана із занадто малим внутрішнім діаметром наконечника і слід застосовувати наконечники з великим діаметром. Але це помилка. Краще рішення для роботизованого зварювання суцільним дротом полягає в застосуванні контактних наконечників з внутрішнім діаметром на 0,03-0,05 мм більше діаметра дроту. У цьому випадку буде досягнуто більш «щільний» електричний контакт між дротом і наконечником, зменшиться опір і покращиться подача дроту. Не можна не враховувати і такі питання, як якість контактних наконечників і якість дроту. Високоякісні наконечники, дріт від надійного виробника можуть мінімізувати передчасне зношування комплектуючих зварювального пальника і дати стабільність подачі зварювального дроту.

Використання подовжених контактних хромцирконієвих наконечників також гарний варіант для збільшення продуктивності. Хромцирконієві контактні наконечники міцніші і довговічніші, ніж мідні, і хоча вони мають

дещо меншу провідністю, різниця незначна. Зазвичай ці типи контактних наконечників можна ідентифікувати по механічно обробленій канавці біля основи різьби.

Перевірка контактних наконечників, утримуючих головок (або дифузорів) і сопел на предмет правильного з'єднання також може вплинути на продуктивність зварювання. Міцні з'єднання допомагають забезпечити надійну електричну провідність і мінімізувати нагрів, що, в свою чергу, дає більш стабільну якість зварного шва і дозволяє витратним матеріалам працювати довше.

Зварювальний дріт може вплинути на ступінь зношування контактних наконечників. Зазвичай в РСС використовують великі барабани з дротом (до 300 кг) для зменшення зупинок в роботі РСС, пов'язаних із заміною дроту, однак дріт в цих барабанах має менший подовжній вигин, ніж дріт, який подається з маленьких котушок. В результаті дріт часто проходить через контактний наконечник відносно прямо, майже не контактуючи з ним. Ефект полягає в наступному: по-перше, наконечник мінімізує електричну провідність, необхідну для створення гарної дуги і надійного зварного шва; по-друге, це може призвести до контакту зварювального дроту зі зварюваною деталлю і утворення дуги в контактному наконечнику і, можливо, до опіку. Тому внутрішній діаметр контактного наконечника для роботизованого зварювання з використанням великих барабанів з дротом може бути того ж розміру, що і діаметр використовуваного дроту. Для того, щоб прийняти правильне рішення, слід проконсультуватися з інтегратором роботизованого зварювання і уважно вивчити рекомендації виробника дроту.

На довговічність контактного наконечника і стабільність горіння дуги буде впливати стан поверхні дроту. Наприклад, знос наконечника буде менше при використанні дроту з мідним покриттям, оскільки мідний шар діє як мастило для поліпшення подачі дроту і покращує електричний контакт дроту з наконечником. Однак при високій інтенсивності роботи РСС можливо відшарування мідного покриття і забруднення каналу всередині

шланг пакету і, як наслідок, гальмування або повна зупинка подачі дроту. В останні роки завдяки вдосконаленню технології волочіння і використання нових типів лубрикаторів розроблені марки дроту без мідного покриття. Такий дріт має гарний електричний контакт з наконечником і не призводить до надмірного зношування його внутрішньої поверхні, і, головне, зварювальний дим не містить пари міді, що позначаються на здоров'ї виробничого персоналу.

Форму і розмір сопла зварювального пальника зазвичай вибирають в залежності від виду зварного з'єднання. При зварюванні з'єднань складної конфігурації перевага віддається вузьким прямим або конічним соплам, оскільки їх застосування дозволяє поліпшити газовий захист розплавленого металу зварювальної ванни. Однак при високій інтенсивності роботизованого зварювання такі сопла можуть швидко прогоріти. Якщо планується виконувати роботизоване зварювання на силі зварювального струму понад 300 А, при тривалості включення не менше 80%, то краще використовувати спеціальні сопла, які з товстими стінками і додатковою тепловою ізоляцією. Це можуть бути сопла з міді, оснащені теплоізоляцією з скловолокна.

Для всіх типів форсунок потрібно використовувати станцію очистки або розширювач форсунок, щоб допомогти підтримувати їх. Станція очистки сопла очищує роботизований пістолет і сопло від бризок і видаляє сміття, що накопичується в процесі зварювання, в утримуючій голівці,. Ці станції можуть бути оснащені розпилювачем, який наносить антирозпилюючий склад на водній або масляній основі для захисту сопла, що утримує головки і заготовки від розбризкування після очищення.

Станція очистки форсунок повинна бути розташована поруч з роботом, щоб вона була доступна. Крім того, необхідно запрограмувати робот на використання його між циклами - під час завантаження деталі або перенесення інструменту, щоб він не переривав операцію зварювання. Станція очистки форсунок повинна завершити роботу за кілька секунд.

3. Неодмінне дотримання техніки безпеки і регламенту навчання персоналу роботі на РСС.

Забезпечення техніки безпеки при роботі з РСС - запорука стабільної тривалої роботи зварювального комплексу. Застосування роботів при виконанні виробничих процесів призводить до суттєвих змін у виробничому середовищі, що оточує робочих, перш за все за умовами безпеки праці. Безпечне використання роботів в зварювальному виробництві гарантується виконанням вимог безпеки як на етапі розробки і конструювання засобів робототехніки, так і на етапі створення та експлуатації РТК.

Не варто забувати також і про підвищення кваліфікації персоналу виробництва. Адже нові технології вимагають нових підходів у навчанні заводських робітників, від яких залежить стабільна, безперебійна робота зварювальної системи.

4. Неухильно дотримуйтесь графік профілактичного обслуговування роботизованої зварювальної системи.

Регулярне профілактичне обслуговування захистить від незапланованих простоїв, дорогих ремонтів, убезпечить від збоїв в роботі, які вимагають заміни обладнання і оснастки. При профілактичному обслуговуванні достатню увагу має бути приділено не тільки безпосередньо роботу, але і всіма складовими РСС, в тому числі подаєчому механізму, зварювальному пальнику, зварювальним кабелям і т.д. Нехтування будь-яким елементом всієї РСС може привести до проблем з подачею дроту, передчасному зношуванню компонентів зварювального пальника, утворенню дефектів шва і зварного з'єднання та ін. Це зажадає додаткових незапланованих витрат часу і фінансових коштів.

Периферійні пристрої, такі як станція очистки форсунок, є додатковим обладнанням, яке може захистити інвестиції в роботизовану зварювальну систему, максимально підвищити її ефективність і знизити витрати. Станція очистки дозволяє швидко і якісно очистити зварювальний пістолет, сопло і наконечник від бризок, налиплих на їх поверхню при зварюванні. Станція

очистки повинна розташовуватися поруч зі зварювальним роботом, крім того, необхідно внести доповнення в програму роботи робота для того, щоб він періодично переривав зварювання для очищення комплектуючих зварювального пістолета. Очищення сопла і наконечника від бризок не повинна займати більше кількох секунд.

Що стосується профілактичних робіт, то повинно бути передбачено час на перевірку надійності кріплення комплектуючих зварювального пальника, зварювальних кабелів, інших видів контакторів і роз'ємів. Своєчасне усунення «слабини» попередить незаплановану зупинку РСС і збій всього технологічного процесу зварювання.

5. Вибирайте перевірених постачальників обладнання для РСС, щоб бути впевненими в його якості і надійності.

ТОВ «Самміт» - уповноважений офіційний представник в Україні компаній KEMPPİ OY (Фінляндія), FANUC (Японія), ABICOR BINZEL (Німеччина) і інтегратор роботизованих систем. Компанія пропонує рішення по роботизації зварювальних процесів виходячи з потреб підприємства замовника в модернізації існуючої технології виготовлення виробів.

Фахівці ТОВ «Самміт» супроводжують замовника на всіх етапах створення РСС: підбір професійного зварювального устаткування і рішення технологічних задач зварювального виробництва оптимальним для клієнта способом, проектування та впровадження проектів у виробництво, навчання персоналу, програмування і супровід роботизованих комплексів для зварювання та різання, впровадження інноваційних рішень зварювального процесу у виробництво клієнта і, що дуже важливо, наявність власного сервісного центру дозволяє швидко реагувати на будь-які труднощі, що виникають при експлуатації РСС. Статус офіційного дилера представлених світових лідерів-виробників зварювального обладнання дозволяє компанії формувати кращу цінову політику на даному ринку в Україні.

2.3.5. Майбутнє зварювальних роботів

Зараз у всьому світі роботизоване зварювання займає лише невелику частину зварювальних робіт у галузі, але це, безумовно, зміниться незабаром через нові технології. Зварювальні роботи, керовані розумом -, дають змогу роботам відповідати очікуванням зварників.

Тепер дослідники створили ковпачок, який передає мозкові хвилі в операції для роботизованої зварювальної руки, і тому роботам не потрібні окремі комп'ютерні програми. Тому роботи можуть виконувати складне зварювання, для якого потрібний час програмування в даний час занадто великий, щоб використання роботів мало сенсу. Ми віримо, що найближчим часом ця нова технологія, безумовно, скоротить значну кількість часу, витраченого на навчання зварювальників, щоб вони стали роботизованими операторами. Ці машини мають зручний для людини - дизайн, який дозволяє легко взаємодіяти зі зварювальниками, а датчики роблять цих роботів здатними збирати інформацію та реагувати на зміну специфікації. На даний момент більшість роботів потребує попереднього програмування для виконання великомасштабних зварювальних робіт, а ці довговічні, але дорогі та громіздкі пристрої займають занадто багато місця та грошей, щоб бути життєздатним варіантом для невеликих компаній або стартапів. Щоб вирішити цю проблему, вчені розробили більше спільних роботів, які могли б працювати з людьми для різних промислових застосувань.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КЕРУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО РОБОТА

3.1. Процес автоматизованого керування

Загальну схему системи автоматичного керування або регулювання процесами контактного шовного зварювання наведено на рис. 3.1, а функціональну схему керування процесом формування з'єднувального шва – на рис. 3.2.

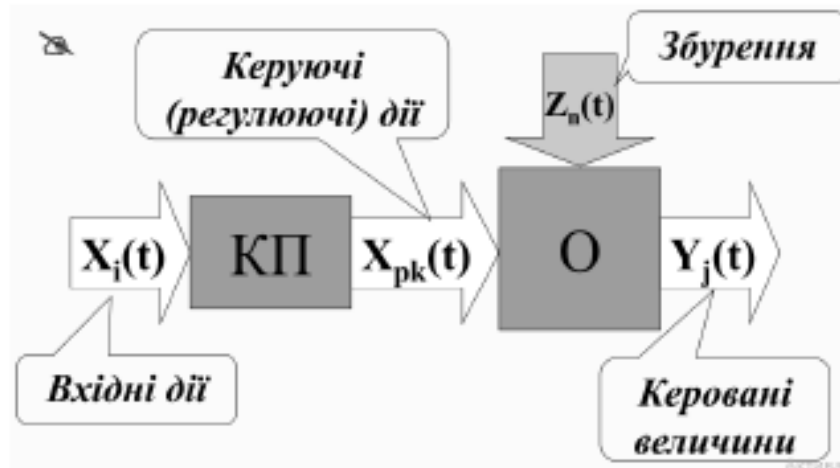


Рис. 3.1. Загальна схема принципу автоматичного керування процесом контактного зварювання

Керовані величини – сукупність вихідних фізичних величин які в наслідок керування мають набути заданих значень. Вхідні дії – дії, що надають інформацію про задачі керування. Керуючі дії – дії, що безпосередньо діють на об'єкт керування. Збурення – зовнішні дії на систему автоматичного керування, які порушують встановлений зв'язок між вхідними діями і керованими величинами.

Принцип автоматичного керування визначає, як і на основі якої інформації формуються керуючі дії в системі.

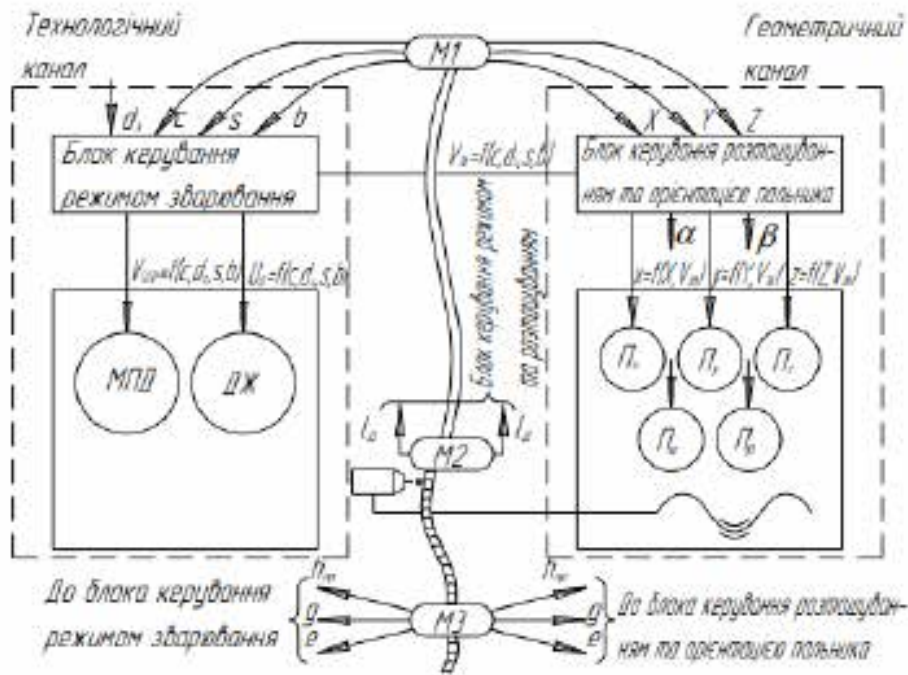


Рис 3.2. – Функціональна схема керування формуванням шва:

X, Y, Z – координати положення лінії зварного з'єднання; x, y, z, α, β – сигнали керування приводами $\Pi_x, \Pi_y, \Pi_z, \Pi_\alpha, \Pi_\beta$ положення та орієнтації зварювального органа;

l_d – довжина дуги; s – вид з'єднання; МПД – механізм подачі; ДЖ – джерело живлення.

Схеми основних принципів автоматичного керування зварюванням наведено на рис. 3.3.

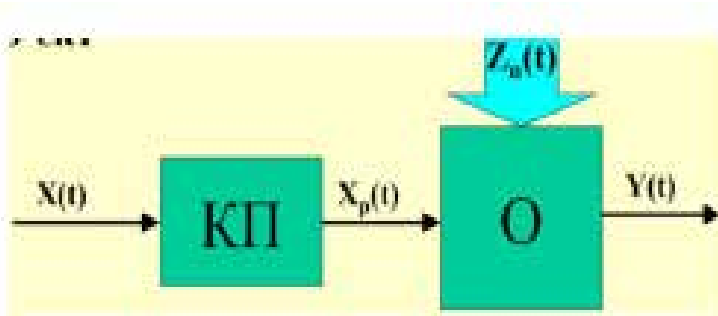
Принцип розімкнутого (планового) керування полягає в тому, що вхідна дія перетворюється керуючим пристроєм на керуючу дію і безпосередньо впливає на об'єкт.

Регулювання за відхиленням полягає в тому, що відхилення регульованого параметру від заданого значення викликає дію регулюючого органу, направлену на зменшення цього відхилення.

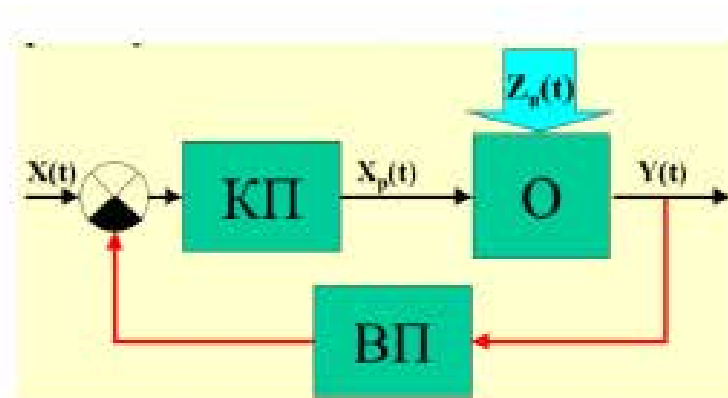
Від'ємний (негативний) зворотній зв'язок – зв'язок, при якому вихідний сигнал (або його частина) віднімається від вхідного сигналу. Додатній

(позитивний) зворотній зв'язок – зв'язок, при якому вихідний сигнал (або його частина) додається до вхідного сигналу.

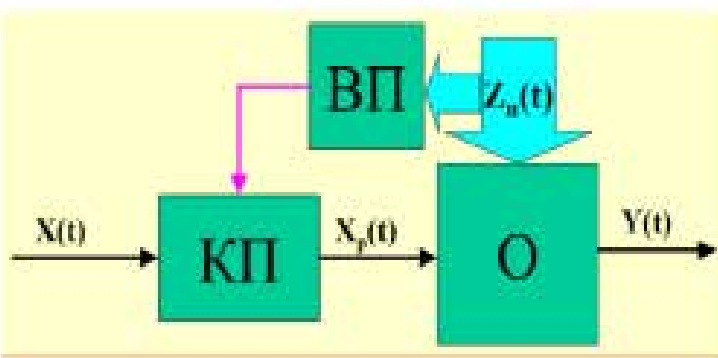
Керованою величиною під час електродугового зварювання рами комбайна вибираємо параметри, які характеризують стабілізацію довжини дуги зварювання.



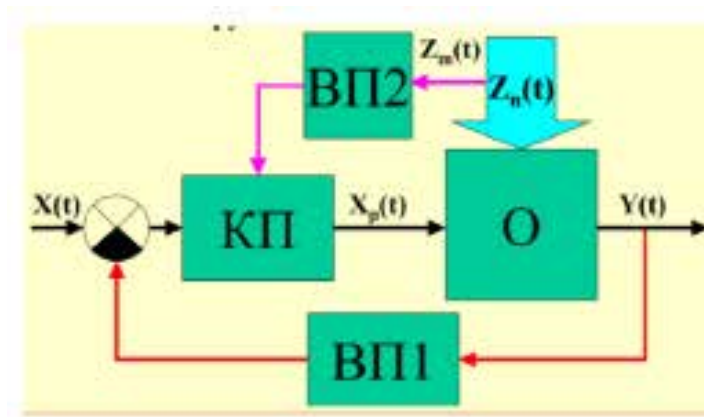
Принцип розімкнутого (планового) керування



Принцип регулювання за відхиленням



Регулювання за збуренням



Комбіноване регулювання

Рисунок 3.3 – Схеми основних принципів автоматичного регулювання процесами зварювання

Типові збурення:

- коливання напруги живлячої мережі;
- зміна опору контуру машини;
- зміна зусилля стиснення електродів;
- зміна геометричних розмірів робочої поверхні електродів;
- зміна швидкості зварювання (для шовного зварювання);
- зміна товщини або інших розмірів зварюваних деталей;
- зміна опору контакту деталь-деталь;
- шунтування зварювального струму раніш звареними точками.

Контрольовані параметри режиму:

- зварювальний струм $I_{зв}$;
- час зварювання $t_{зв}$ (для шовного зварювання час імпульсу і час паузи);
- зусилля стиснення електродів;
- розміри робочої поверхні електродів та роликів;
- швидкість зварювання - для шовного зварювання.

Для стабілізації довжини дуги контактного зварювання паливного бака автомобіля застосовуємо схему системи автоматичного керування (регулювання) за відхиленням напруги живлення зі зворотнім зв'язком (рис. 3.4).

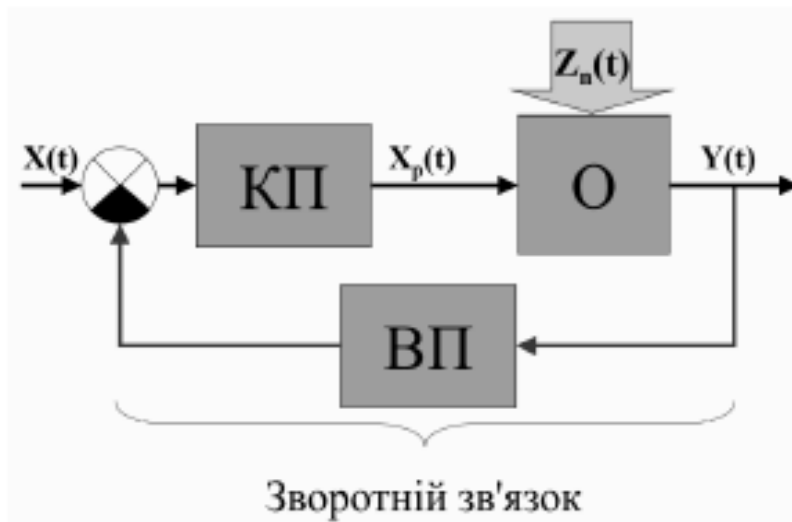


Рисунок 3.4 – Схема автоматичного керування процесом зварювання за відхиленням зі зворотнім зв'язком

У даній системі, під час шовного зварювання бака автомобіля, регулюється значення струму зварювання I_z .

При цьому сигнал зворотного зв'язку дозволяє регулювати напругу живлення, яка у подальшому впливає, або регулює (змінює числове значення) струму зварювання I_z .

Регулювання за відхиленням полягає в тому, що відхилення регульованого параметру від заданого значення викликає дію регулюючого органу, направлену на зменшення цього відхилення.

Системи автоматичного керування зварюванням, як правило, забезпечують:

- програмне керування послідовністю операцій зварювального циклу;
- регулювання кінематичних і енергетичних параметрів;
- регулювання технологічних параметрів;
- стабілізацію енергетичних параметрів;
- стеження за кінематичними параметрами.

Загальну схему програмного керування стабілізації струму зварювання рис. 3.5.

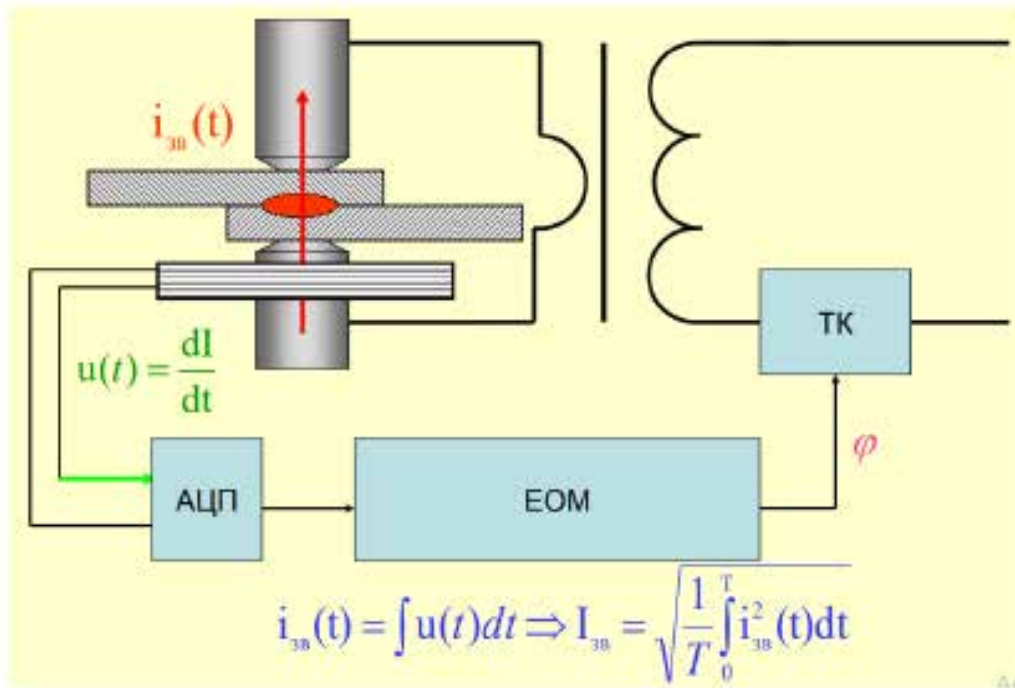


Рис. 3.5 – Програмне керування стабілізації струму зварювання

Підключення машини контактного шовного зварювання та регулятор циклу зварювання наведено на рис. 3.6.

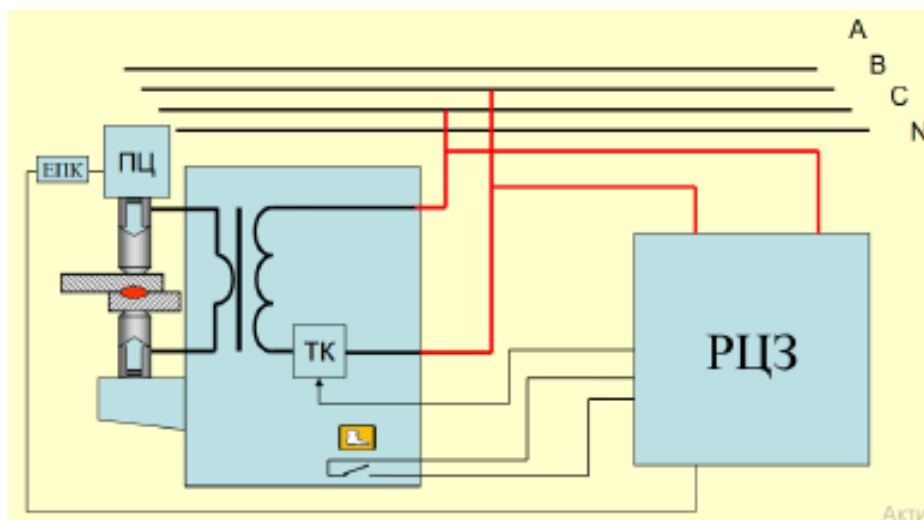


Рис. 3.6 – Схема підключення машини контактного шовного зварювання

Для регулювання циклу зварювання вибираємо тиристорну схему управління.

Причини використання тиристорного контактора:

- забезпечення безконтактної комутації струму;
- відключення в момент нульового значення струму в первинному колі

зварювального трансформатора;

- забезпечення протікання через первинну обмотку трансформатора парної кількості напівхвиль струму під час операції «нагрів»;
- можливість керування діючим значенням струму;
- забезпечення заданого часу нагріву.

Схему тиристорного контактора автоматизованої системи управління стабілізацією струму під час контактного шовного зварювання наведено на рис. 3.7.

На рис. 3.8 наведено регулятор циклу контактного шовного зварювання з застосуванням тиристорної схеми управління стабілізації струму зварювання.

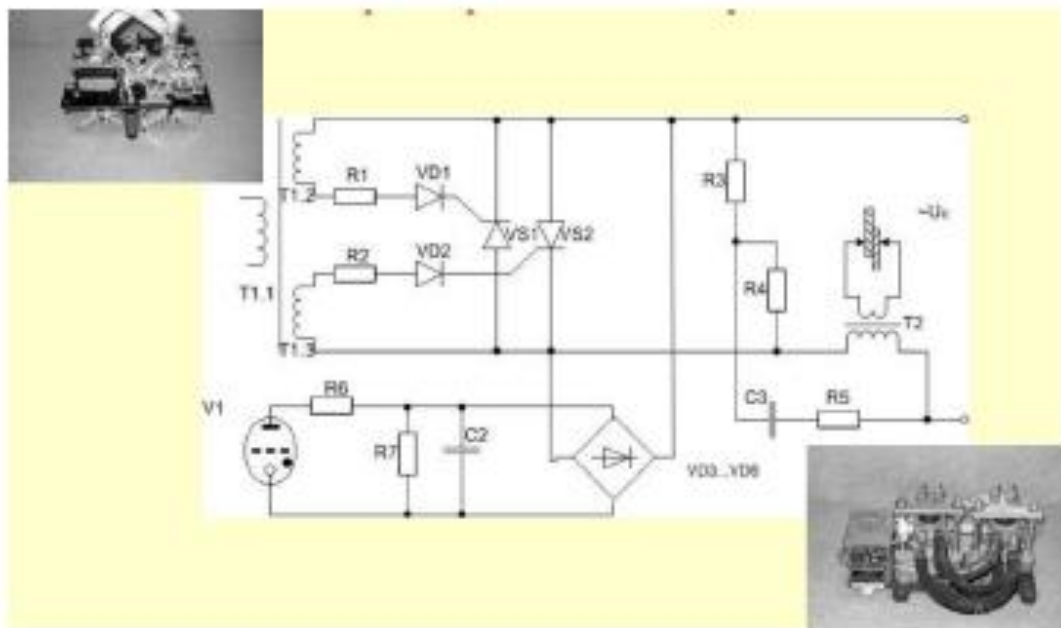


Рис. 3.7 – Схема тиристорного контактора (регулятора)

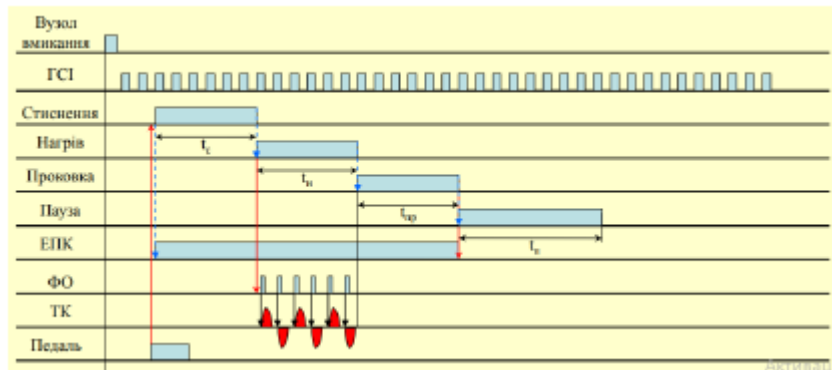


Рис. 3.8 – Регулятор циклу контактного шовного зварювання

3.2. Автоматичне керування стабілізацією струму зварювання

Керуючі впливи, що визначають формування зварного з'єднання, прикладаються до зварювальної машини і безпосередньо до зони зварювання.

Основні параметри шовного зварювання:

- зварювальний струм $I_{св}$;
- час імпульсу t_i і час паузи t_p між імпульсами зварювального струму;
- зусилля стиснення $F_{сж}$ електродів;
- розміри робочої поверхні електродів (роликів);
- швидкість переміщення $V_{св}$ деталей, що зварюються.

Забезпечення необхідного рівня показників якості зварних з'єднань і перш за все їх міцності вимагає завдання і підтримки встановлених значень більшості параметрів зварювального режиму з точністю не менше $\pm 5\%$.

Так, зниження $I_{св}$ на 10% може привести до зменшення діаметра ядра і, відповідно, міцності з'єднань при зварюванні сталей на 20 - 25% від номінального значення. Такі ж параметри, як зварювальне і кувальне зусилля стиснення електродів, допускають зміну в межах 10 - 15% від номінальних значень без істотного погіршення якості зварних з'єднань.

Зварювальний струм $I_{св}$ - один з основних параметрів, що визначають режим зварювання і якість зварного шва. Спосіб амплітудного завдання

і регулювання $I_{св}$ полягає в зміні його діючого значення при перемиканні ступенів зварювального трансформатора або зміні напруги зарядки $U_{зар}$ батареї конденсаторів - при конденсаторній зварювання

Час зварювання $t_{св}$ в зварювальних машинах змінного струму задають при включенні вентильного (тиристорного або ігнітрони) контактора на необхідний час, кратне числу періодів мережі живлення.

Зусилля стиснення $F_{сж}$ електродів при механічному приводі задається вантажами або пружинами і системами важелів, а при пневматичному або пневмогидравлическим приводом регулюється редукторами тиску. Якщо зварювальний машина має електромагнітний привід стиснення, то $F_{сж}$ визначається струмом в обмотці електромагніту. З позиції автоматизації найбільш зручним є електромагнітний привід, застосовуваний тільки для машин малої потужності. Швидкодія - найважливіша вимога до регуляторів процесів контактної зварювання, оскільки протягом короткого проміжку часу (порядку 10-2 с) повинні бути здійснені операції вимірювання регульованої величини, порівняння її з заданим значенням і вироблення керуючого впливу. Необхідну швидкодію і точність можуть бути забезпечені тільки на основі використання досягнень сучасної електронної і мікропроцесорної техніки.

Для стабілізації струму зварювання на заданому рівні застосовують регулятори струму зварювання (РТС). Функціональна схема РТС, що забезпечує стабілізацію діючого значення зварювального струму, наведена на рис. 3.7.

Напруга, пропорційне зварювального струму, знімається з трансформатора струму 1 і подається на вимірювальний пристрій 2. За допомогою блоку настройки 6 це напруга при будь-якому заданому зварювальному струмі встановлюється постійним (U_i); при цьому вихідний сигнал регулятора U_u на виході підсилювача 3 не змінює встановлений зварювальний струм.

У момент протікання зварювального струму тривалістю $t_{св}$ напруга U_i порівнюється з напругою установки по струму U_0 пристрою, що задає 7, а під час паузи - з напругою коригуючого пристрою 4, яке отримує команду від вузла програмування часу зварювання - переривника 5. При відсутності обурення по току зварювання в момент протікання струму $U_0 - U_i = 0$; в момент паузи $U_0 - U_k = 0$.

Шовне зварювання виробів основного виробництва виконується на машинах контактної шовного зварювання, склад яких наведено в табл. 3.1.

У зв'язку з відсутністю необхідної вимірювальної апаратури основні параметри зварювання на машинах не контролюються. З цієї ж причини не виконуються регламентні роботи на машинах відповідно до вимог РТМ.

Вибірково для перевірки роботи машини МТП-100 використовували прилад АСУ-1, за допомогою якого вимірювали струм в процесі зварювання деяких вузлів. Вимірювання показали значний розкид за величиною зварювального струму. Нестабільність значення зварювального струму відбилася на розмірах і якості зварних точок. Занижені розміри зварних точок виходять за рахунок виплеск металу литий зони, а також за рахунок застосування неправильних розмірів робочої поверхні електродів.

Таблиця 3.1 - Склад контактної виробництва основного обладнання

№	Тип машини	Система управління
1	МТП-100-5	Ігнітрони контактор і реле РВЕ-7
2	МТ-3201	Регулятор циклу РЦ-4-2 №301
3	МР-2507	
4	МШ-1601	
5	МШП-150	
6	МТП-75	
7	МТ-1210	Переривник Піш-100-4 № 46
8	МТ-1209	Ігнітрони контактор КІЛ і регулятор РВЕ-71А-2
9	МР-2517	Ігнітрони контактор і РВЕ-7-1А

Уточнення режимів зварювання на машині МШ-1601 на деталях стосовно виробу.

Зразки технологічної проби і самі вироби, виконані точковим зварюванням на обладнанні підприємства не завжди задовольняють вимогам якості та надійності. Крім того, в зв'язку із заниженими розмірами в з'єднаннях, розглядаємо можливість зварювання виробів зі зменшеними розмірами зварних точок.

При відпрацюванні режимів точкового зварювання для отримання заданих розмірів зварних точок нормальних і зменшених розмірів при встановлених значеннях $t_{сВ}$. і $F_{сВ}$. Регулювання зварювального струму здійснювали перемиканням ступенів трансформатора, починаючи із меншого значення зварювального струму.

Остаточну регулювання $t_{сВ}$. здійснювали шляхом фазового регулювання. Якщо при встановлених значеннях $t_{сВ}$. і $F_{сВ}$., а потім відповідним чином $I_{св}$.

Для отримання режиму стійкого до виплеску металу, максимальний діаметр литого ядра <1 м, при якому починалися виплеск приймався на 10-15% більше номінального. Після отримання ен збільшували $I_{св}$. і визначали максимальне значення діаметра. Відпрацювання режимів зварювання проводилася на зразках, поставлених підприємством, які відповідали марці, товщині і станом виробів, що зварюються. Робочі поверхні електродів для кожної товщини деталей приймалися по ПШ86-75, а для зварювання точками зі зменшеними розмірами по РТМ-1536-76.

Амплітудне значення зварювального струму вимірювали приладом ОСУ-1, окремі режими зварювання записували осциллографом Н-700. Зміна тривалості $t_{сВ}$. в порівняно широкому діапазоні забезпечує можливість отримання розмірів литої зони без виникнення виплеск металу. На рис. 3.9 представлена осцилограма струму, записана під час зварювання сталі 12Х18Н10Т на машині МШ-1 601.

При зварюванні цього ж поєднання товщини точками зменшених розмірів також спостерігається схильність до виплеску металу. При цьому зазначено, що виплеск металу відбуваються в кінці проходження зварювального імпульсу струму.

Необхідно мати на увазі, що точкове зварювання електродами з плоскою робочою поверхнею накладає більш жорсткі вимоги по механічній жорсткості вторинного контуру та дотримання співвідносі верхнього і нижнього електродів. Використання отриманих режимів точкового зварювання забезпечують задані розміри зварних точок і виключають можливість виникнення виплеск.

Вибір оптимального режиму зварювання є досить складною операцією, від якої в основному залежить якість і стабільність одержуваних зварних з'єднань Її виконання слід доручати наладчикам і сварщикам високої кваліфікації. Можна рекомендувати наступний порядок вибору режиму зварювання.

Специфічні особливості точкових зварних з'єднань ускладнюють використання методів і засобів неруйнівного контролю готових з'єднань.

Основною умовою стабільності процесу роликового зварювання є відповідність істинних параметрів режиму заданим (установленим) апаратурою управління. З метою визначення такої відповідності параметрів, а також для фіксування режиму зварювання в технологічній карті і перевірки стабільності роботи зварювального устаткування вимірюють параметри режиму 1Св., ТсВ., FCB.

Найбільшу логічний зв'язок з тепловою і електричною характеристиками процесу зварювання має діюче значення струму в найбільшому напівперіоді 1св.д. для машин змінного струму та амплітудне значення струму ICB.M. для низькочастотних і машин постійного струму. Короткочасність включення, велика величина і несинусоїдальності форма струму унеможливають використання стандартних приладів для

вимірювання струму. Тому для його вимірювання при точковому зварюванні застосовують спеціальні прилади.

А в якості датчика струму в приладах використовують трансформатори з немагнітним сердечником - тороїди, що надягають на струмопровідні частини зварювального контуру машини. Для вимірювання діючого значення струму при точковому зварюванні застосовують прилад типу АСУ-1М. Результат обчислення зберігається на час, необхідний для зняття звіту. Стрілочний прилад в АСУ-1 має дві шкали: квадратичну - для вимірювання діючого значення струму і лінійну - для вимірювання амплітудного значення струму. Прилад має два датчика токо-тороида з внутрішнім діаметром 100 і 200 мм, що дозволяє вимірювати струми на контактних машинах різних типів.

Тривалість протікання струму може бути виміряна шляхом спостереження і реєстрації струму на осцилографі. Тривалість струму машин постійного струму вимірюється шляхом одночасного запису на осцилографі сигналів, пропорційних струму і напрузі змінного струму відомої частоти (отметчика часу). При спостереженні струму на електронному осцилографі для вимірювання тривалості також включають лічильник часу, завдяки якому спостерігається крива фіксується на екрані у вигляді чергуються рисок і пауз.

За кількістю рисок, знаючи встановлений масштаб отметчика часу, визначають тривалість імпульсів струму. Сигнал, пропорційний зварювального струму, може бути отриманий з виходом інтегруючого підсилювача приладу АСУ-1М, для чого у останнього є спеціальні гнізда.

Зусилля стиснення електродів визначаються за допомогою пружинних динамометрів типу Д.П.С., деформація яких під дією зусилля вимірюється індикатором годинного типу.

В ході магістерської роботи було вивчено вплив таких параметрів зварювання, як величина зварювального струму, кут фазового відсічення і час зварювання на міцність зварного з'єднання на зріз. Також була

встановлена залежність ширини робочої поверхні верхнього і нижнього електродів на міцність зварного з'єднання і залежність швидкості зварювання від величини перекриття шва.

Експериментально було встановлено, що при збільшенні сили зварювального струму до деякого значення (приблизно рівного 1230 А) міцність зварного з'єднання максимально зростає. При подальшому ж збільшенні сили струму, міцність знову знижується. Таким чином, було встановлено оптимальне значення величини зварювального струму.

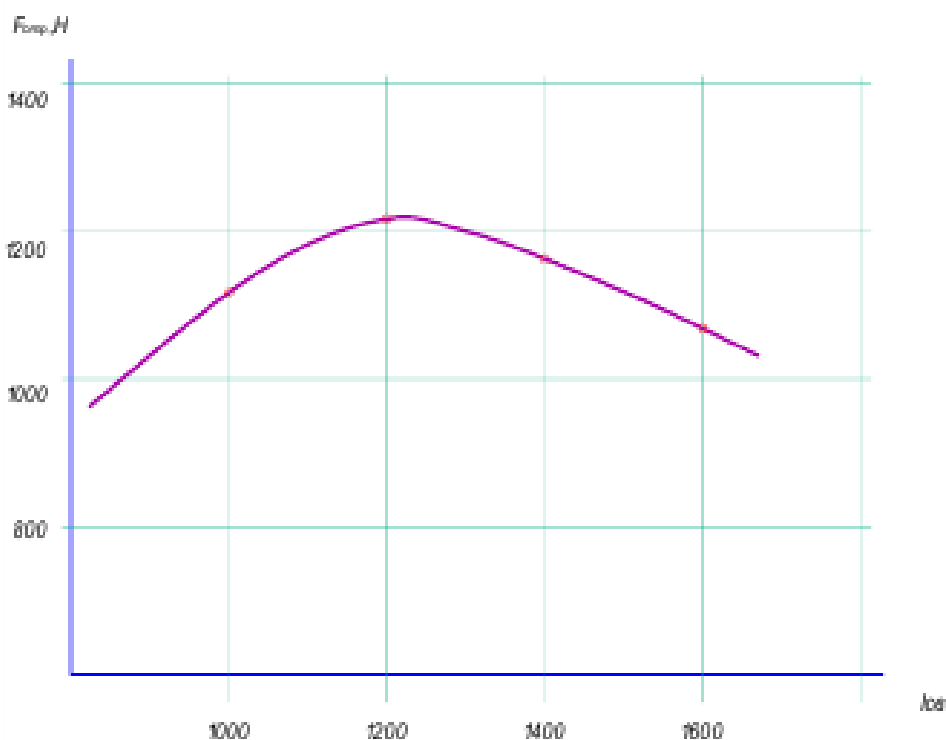


Рис. 3.9 - Залежність міцності від величини зварювального струму

Також в ході досліджень було виявлено оптимальне значення кута фазового відсічення на міцність з'єднання. Це значення виявилось рівним 30° . Саме в такому значенні кута фазового відсічення спостерігається найвища міцність сварюваного з'єднання (більше 1200 Н).

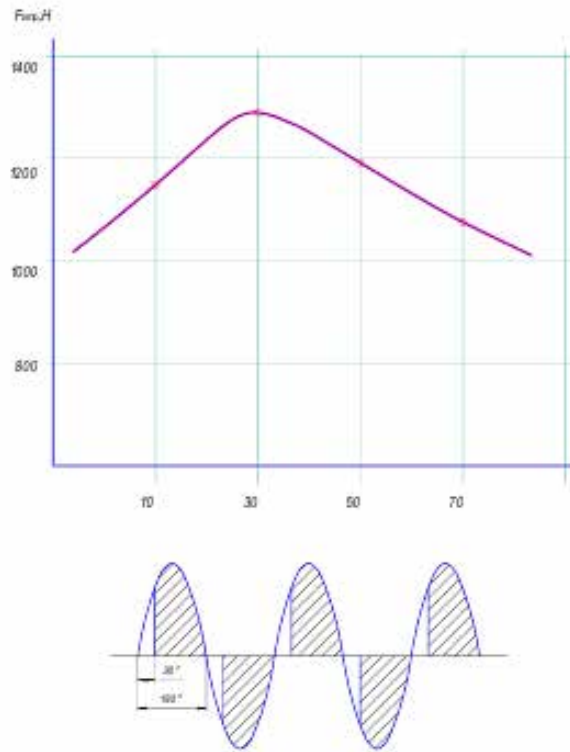


Рис. 3.10 – Залежність міцності від кута фазового відсічення

Далі ми виявили в ході численних експериментів вплив часу протікання зварювального імпульсу на міцність зварного з'єднання. Оптимальним значенням часу імпульсу, при якому досягається максимальна міцність з'єднання виявилось значення рівне приблизно 0,16 секунди. На рис.3.10 показаний графік залежності міцності від часу зварювання.

Також ми експериментально виявили при якій швидкості зварювання виходить оптимальне значення перекриття зварного шва. На рис. 3.11 представлена залежність швидкості зварювання від величини перекриття.

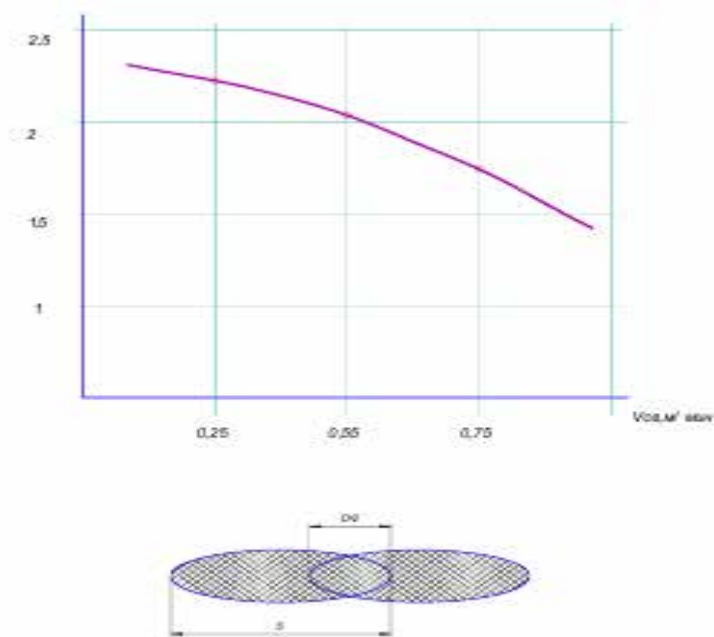


Рис. 3.11 - Залежність величини перекриття від швидкості зварювання

Таким чином, в дослідницькій частині магістерської роботи ми експериментальним чином встановили оптимальні параметри зварювання. Такі параметри при яких лите ядро розташовується симетрично щодо контакту деталей-деталь. Параметри при яких зварений шов має прийнятну міцність, а при проведенні випробувань на розрив - руйнування йде з вириваючи основного метала.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4 Дефекти зварювальних швів та причини їх усунення

Процес зварювання вимагає особливої точності від фахівця, але навіть досвідчені зварювальники чи роботизовані системи можуть зіткнутися з дефектами, що виникають у процесі роботи. Розуміння загальних проблем зварювання має вирішальне значення для отримання високоякісних результатів. Ось деякі поширені дефекти та способи їх запобігання.

Відсутність з'єднання

Коли дві частини металу зварюються разом, вони повинні розплавитися і склеїтись на межі розділу, щоб створити міцне з'єднання. Якщо метал зварного шва не повністю зливається з основним металом та з попереднім шаром зварного шва, це може призвести до отримання слабких та ненадійних з'єднань. Даний дефект відомий як непроварювання і відбувається при недостатньому плавленні та склеюванні. Щоб уникнути цієї проблеми, важливо правильно підготувати з'єднання та використовувати правильну техніку та параметри зварювання

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Занадто вузька підготовка шва	Переконайтеся, що підготовлений шов є досить широким.
Неправильний кут пальника/електроду	Переконайтеся, що кут пальника/електроду забезпечує правильне прилягання бічної стінки
Надмірно високий струм або дуже низька швидкість зварювання, при якій створюється зварний шов із затопленням басейну перед дугою, що призводить до недостатнього проплавлення.	Виберіть параметри зварювання (високий зварювальний струм, коротка довжина дуги та не дуже висока швидкість зварювання), які сприяють достатньому проникненню, не викликаючи переповнення.
Забруднення на з'єднаннях	Очистіть стикові поверхні
Зварювання на спускі	Використовуйте зварювання вертикально вгору.
Занадто довга дуга/надто висока напруга	Використовуйте коротку дугу/меншу напругу.
Занадто низьке тепловкладання	Збільшення тепловкладання

Пористість

Пористість при зварюванні означає утворення невеликих повітряних кишень або пір, які послаблюють зварний шов. Вони виникають, коли небажані гази потрапляють у розплавлену зварювальну ванну. Щоб уникнути пористості, дуже важливо підтримувати хороший газовий захист, забезпечувати якісне очищення поверхонь з'єднання та використовувати правильні параметри зварювання.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Поганий газовий захист.	Усуньте будь-які витoki повітря, зменшіть надмірно високі швидкості потоку газу, уникайте турбулентності та протягів у зварювальній ванні
Мокрий електрод	Висушіть електрод
Забруднення на стикових поверхнях, наприклад – іржа, ґрунтовка.	Очистіть стикові поверхні
Занадто довга дуга/висока напруга	Зменшіть напругу
Занадто низьке тепловкладення	Використовуйте більш високе тепловкладення

Відсутність провару

Непровар при зварюванні - це термін, який використовується для опису дефекту, при якому метал зварного шва не повністю розширює товщину шва. Він може послабити з'єднання. Щоб уникнути цього, важливо коригувати параметри та методи зварювання, щоб забезпечити повний провар шва в основний метал.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Погане проектування чи підготовка	Розширте кореневий отвір або зменшіть розмір кореневої грані
Занадто велика довжина дуги	Зварювати коротшою дугою/зменшити напругу
Занадто великий діаметр електрода	Використовуйте електрод меншого розміру
Надмірно висока швидкість зварювання	Зменшіть швидкість зварювання
Занадто маленьке тепловкладання	Надто маленьке тепловкладання

Підріз

Підріз при зварюванні - це дефект, що виникає при проходженні канавки або заглиблення вздовж носка зварного шва. Це відбувається, коли присадковий метал не може належним чином заповнити основний розплавлений матеріал. В результаті основа зварного з'єднання має увігнуту форму. На жаль, цей дефект знижує структурну цілісність зварного з'єднання, роблячи його більш схильним до утворення тріщин та руйнувань.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Дуже довга дуга/напруга	Зменшіть напругу
Неправильний кут нахилу електрода	Використовуйте відповідні кути електродів
Надмірно високий струм	Зменшіть струм
Занадто велика товщина горла	Використовуйте багатопрохідне зварювання

Кратерні тріщини та кратерні труби

Кратерні тріщини з'являються, коли зварювальна ванна остигає дуже швидко. Ці тріщини роблять зварний шов слабшим і більш схильним до руйнації. Зазвичай вони поширюються назовні краю зварювального кратера. З іншого боку, кратерні труби – це дефекти, які з'являються наприкінці зварювального шва під час зупинки дуги. Це можуть бути неглибокі западини або подовжені пори. Кратерні труби утворюються через такі методи, як раптове припинення подачі дроту або використання автогенних методів (наприклад, зварювання TIG). Правильні методи та параметри зварювання, а також додавання присадного матеріалу в кінці зварного шва можуть допомогти запобігти появі такого типу тріщин.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Неправильна техніка зупинки	Зупиніть зварювання, перемістивши дугу трохи назад або у бік паза
Швидке затвердіння великої зварювальної ванни при відключенні зварювального струму	Поступово зменшуйте зварювальний струм, зменшуючи розмір зварювальної ванни

Шлакові включення

Шлакові включення - частий вид зварювального дефекту, що виникає, коли шлак - побічний продукт зварювання - застрягає всередині зварного виробу. У довгостроковій перспективі це може спричинити низку проблем із продуктивністю. Щоб уникнути цього дефекту, дуже важливо ретельно очищати та використати відповідну техніку зварювання.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Пустоти, спричинені неправильним перекриттям із двох сусідніх зварних валиків	Використовуйте електроди правильного розміру та кута, а також застосовуйте методи зварювання, що дозволяють отримати гладкі зварні шви
Недостатнє видалення шлаку	Видаліть весь шлак між проходами.
Занадто низьке тепловкладання	Збільшіть подачу тепла
Затоплення шлаку перед дугою	Направте дугу у бік зварювальної ванни.
Занадто вузький прохід	Збільшіть кут проходу

Надмірне проплавлення

Надмірним проваром при зварюванні називають явище, коли метал шва проникає в основний метал глибше, ніж передбачалося. Для управління рівнем провару вирішальне значення має контроль погонної енергії та швидкості зварювання. Це особливо важливо при зварюванні труб, оскільки може вплинути на потік рідини та викликати проблеми ерозії та корозії.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Занадто велике тепловкладання в з'єднанні	Зменшіть підведення тепла
Занадто великий повітряний зазор	Використовуйте менший повітряний зазор
Занадто маленька коренева грань	Збільшити кореневу грань

Бризки

У процесі зварювання дрібні краплі розплавленого металу можуть розлітатися зі зварювальної ванни та прилипати до різних поверхонь. Це називається розбризуванням, і воно може негативно вплинути як на зовнішній вигляд, так і якість зварного шва. Основною причиною бризок є

нестабільна зварювальна дуга. Щоб зменшити розбрикування, важливо точно налаштувати параметри зварювання та, можливо, відрегулювати потік газу чи суміші. Ефективно керуючи бризками, ви можете гарантувати, що ваші шви будуть високої якості та візуально привабливими.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Невідповідні параметри зварювання	Налаштуйте параметри зварювання
Занадто довга дуга/надмірно висока напруга	Працювати коротшою дугою/зменшити напругу
Мокрі, неочищені чи пошкоджені електроди.	Використовуйте сухі та непошкоджені електроди.
Домішки на поверхнях, що зварюються, або в наповнювачі матеріалу, наприклад - іржа.	Відшліфуйте поверхні, що зварюються, і використовуйте чисті присадочні матеріали.
Магнітний дуговий удар	Змініть положення затискача повернення маси /приваріть до затискача/зігніть палицю/пальник у напрямку удару
Неправильна полярність	Змініть полярність

Лінійні зміщення

Лінійний перекіс при зварюванні – дефект, що виникає при неправильному вирівнюванні кромки зварного з'єднання прямою лінією. Це призводить до відхилення або усунення довжини зварного валика. Щоб звести до мінімуму цей дефект, важливо використовувати правильні методи кріплення та вирівнювання, а також дотримуватись процедур зварювання.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Погана підгонка компонентів перед зварюванням	Акуратно виконати монтажні роботи
Деформації при зварюванні	Міцно зафіксуйте деталі, що зварюються, і дотримуйтеся правильної послідовності зварювання
Розрив прихваток під час зварювання	Правильно виконуйте прихваточне зварювання
Неправильний допуск компонентів, що зварюються.	Перевірьте допуски

Надмірна асиметрія кутового зварного шва.

Надмірна асиметрія кутового шва при зварюванні виникає, коли дві гілки кутового шва не мають однакової довжини, що призводить до нерівномірного розподілу зварювального матеріалу. Цей дисбаланс може вплинути на структурну цілісність та міцність зварної сполуки. Асиметрія може поставити під загрозу здатність зварного шва витримувати задані навантаження та напруги, що потенційно може призвести до передчасного виходу з експлуатації або деформації в умовах експлуатації.

Крім того, даний дефект означає стан, при якому форма зварного кутового шва значно відхиляється від бажаної ідеалізованої конструкції. Кутові зварні шви зазвичай використовуються для з'єднання двох компонентів під кутом 90 градусів та характеризуються трикутним поперечним перерізом.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Неправильний кут пальника/електроду	Використовуйте правильні кути пальника/електроди.
Занадто велика зварювальна ванна	Зменшіть швидкість осадження
Магнітний дуговий удар	Перемістіть затискач заземлення, використовуйте найкоротшу дугу. Можливо, слід зменшити зварювальний струм, нахилити пальник/електрод, протилежний напрямку горіння дуги, та/або використовуйте джерело змінного струму

Надлишок зварювального металу

Надлишок зварювального металу, також відомий як посилення зварювального шва, виникає, коли об'єм зварювального металу, що наплавляється в з'єднання, перевищує об'єм, необхідний для передбачуваної міцності та контуру шва. Хоча зазвичай потрібне деяке посилення, щоб компенсувати усадку зварного шва та забезпечити його достатню міцність, надлишок металу шва виходить за рамки цього, що призводить до його наростів, які можуть вплинути на естетичні та функціональні аспекти. Цей надлишок може призвести до збільшення концентрації напруги, непотрібної ваги та втрат матеріалу, а також до потенційних труднощів з дотриманням допусків на розміри, також може вплинути на експлуатаційні характеристики, змінюючи розподіл напруги всередині звареного компонента. Управління кількістю наплавленого металу має вирішальне значення для досягнення ефективного, економічного та структурно надійного зварного шва, що відповідає заданим стандартам конструкції та якості.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Занадто багато присадочного металу для швидкості зварювання.	Збільшіть швидкість зварювання або зменшіть кількість присадного металу
Занадто великий діаметр електрода	Використовуйте електрод меншого діаметра
Занадто маленька чи нескошена канавка	Використовуйте скошену канавку
Занадто низьке тепловкладання	Використовуйте більш високе тепловкладання

Тріщини (наприклад, гарячі тріщини)

Тріщини при зварюванні, наприклад, такі, як гарячі, є одним з найбільш серйозних дефектів, які можуть виникнути в процесі роботи. Ці тріщини виникають, коли локалізована напруга перевищує межу міцності основного металу на розтяг. Напруги розвиваються в міру остигання та затвердіння зварного шва. Цей тип розтріскування може бути викликаний багатьма факторами, включаючи неправильний вибір присадочного матеріалу, високий рівень домішок в основному металі, надмірне тепловкладання та високу швидкість охолодження. Вкрай важливо розуміти механізми утворення гарячих тріщин і слідувати належним методам зварювання, щоб запобігти цьому шкідливому дефекту, який руйнує цілісність і довговічність зварних конструкцій.

МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ	ЯК ЇХ УНИКНУТИ?
Занадто низьке співвідношення ширини та глибини зварного шва.	Переконайтеся, що співвідношення ширини та глибини зварного шва відповідає більше 1 для нелегованих сталей / більше 1,5 для нержавіючої сталі
Висока напруга через велику кількість термічних розширень	Зведіть до мінімуму ступінь стримування, використовуючи відповідну підготовку кромки і точну підгонку швів
Високий вміст вуглецю у зварному шві	Використовуйте наповнювач із низьким вмістом вуглецю.
Неправильний присадний метал	Використовуйте правильний присадний метал
Сегрегація домішок до центру звареного шва.	Вибирайте базовий матеріал із меншою кількістю домішок.

3.2. Профілактичне обслуговування зварювального робота

Оскільки роботи розроблені для роботи на повній швидкості 24 години на добу, 7 днів на тиждень, вони розроблені таким чином, що вимагають мінімального обслуговування. Ця концепція дизайну мінімізує час простою для виконання завдань технічного обслуговування, що забезпечує безперебійне виробництво. Встановлення правильного балансу в обслуговуванні має вирішальне значення, оскільки надмірне обслуговування може спричинити такі проблеми, як надмірне змащення, що може завдати більше шкоди, ніж користі. Дотримання добре спланованого графіку профілактичного обслуговування є таким же важливим для роботизованих зварювальних систем, як і використання правильного мастила. Оскільки ці

роботи розроблені для роботи на повній швидкості 24 години на добу, 7 днів на тиждень, вони розроблені таким чином, що вимагають мінімального обслуговування. Це зменшує час простою, необхідний для виконання технічного обслуговування. Крім того, робот може потребувати занадто багато обслуговування, що може призвести до надмірного змащування робота. Для роботи системи зварювального робота дотримання графіка профілактичного обслуговування є таким же важливим, як і забезпечення використання правильного мастила. Крім того, час безвідмовної роботи та продуктивність вашої роботизованої зварювальної системи можна значно покращити шляхом постійного планового профілактичного обслуговування.

Регулярне профілактичне обслуговування є наріжним каменем високопродуктивної роботизованої зварювальної системи. Це забезпечує найкращу роботу системи, оптимізуючи час безвідмовної роботи та продуктивність. Нехтування обслуговуванням може призвести до несподіваних поломок, затримок виробництва та збільшення витрат. За допомогою регулярного технічного обслуговування ви можете продовжити термін служби роботизованої зварювальної системи, максимізуючи віддачу від інвестицій.

Дотримуючись плану профілактичного обслуговування, слід перевірити кілька простих кроків:

Замінюйте зварні труби щотижня

Для зварювальних роботів найчастіше зношується зварювальна підкладка. Якщо на вашому підприємстві три зміни працюють роботи, зварювальне покриття слід міняти щотижня, щоб усунути дефекти під час роботи. Зварювальні шви – це деталі, які найбільш схильні до зношування у зварювальних роботах. При тризмінному режимі роботи зварювальний футерів необхідно замінювати щотижня для усунення дефектів виробничого процесу. Нові зварні шви допомагають досягти стабільних зварних швів без дефектів.

Огляд кабелю

Спостерігайте за роботом, який працює через програму, і зверніть увагу на будь-яке перетягування, тертя, контакт кабелю з пристосуванням або будь-які рухи кабелю вздовж зварювальної камери чи будь-якої іншої частини системи. Якщо їх не вирішити, вони можуть стати проблемними ділянками з дорогим обслуговуванням кабелю. Зношені кабелі слід замінити та закріпити, щоб зменшити надмірний знос.

Наконечник і сопло зварювального пістолета

Необхідно щодня замінювати сопло зварювального пістолета. Також перевірте зварювальне сопло на наявність зварювальних бризок, які можуть перешкоджати зварюванню. Нове контактне наконечник на зварювальному пістолеті може виправити дефекти, які можуть виникнути під час процесу зварювання. Використання мильних бульбашок для перевірки витоків захисного газу забезпечує безперебійний процес зварювання.

РОЗДІЛ 5. ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ

5.1. Основні технічні характеристики зварювального робота

Склад комплексу:

Робот Fanuc ArcMate 100iD/8L

Робот ARC Mate 100 iD/8L ідеально підходить для роботи в обмеженому просторі.

Компактний корпус ARC Mate 100iD/8L займає небагато місця і може бути встановлений у стельовому положенні або під кутом ще більшої гнучкості



Рис.5.1. Загальний вигляд роботизованого комплексу

Технічні характеристики комплексу

Максимальне навантаження на кисть	8 кг
Досяжність	2032 мм
Керованих вісей	6
Повторюваність	±0,03 мм
Вага	150 кг
Середнє вживання енергії	1 кВт

A7 MIG Welder 350 - це зварювальне джерело живлення, що призначене для професійного використання в роботизованих зварювальних системах. Воно підходить для імпульсного синергетичного зварювання MIG/MAG, синергетичного зварювання 1-MIG/MAG, стандартного зварювання MIG/MAG, а також модифікованих процесів WiseRoot+™ та WiseThin+™. Інтерфейсний блок роботизованої системи, встановлений на джерелі живлення, забезпечує зв'язок з роботом та містить усі необхідні підключення для інтеграції зі зварювальним модулем.

5.2. Зварювальний пальник ABICOR BINZEL ABIROB A360

Важливим елементом зварювального робота є пальник. Від його роботи суттєво залежить якість виконуваних робіт



Рис 5.2. Зварювальний пальник роботизованої системи

Технічні характеристики пальника

Тип охолодження	повітряне
Навантаження	360 А CO ₂ / 290 А Змішані гази M21 (EN ISO 14175)
ПВ	100 %
Діаметр-Ø	0.8–1.4 мм
Геометрія пальника	0°/22°/35°/45°

5.3. Станція очищення пальника



Рис. 5.3 Загальний вигляд станції очищення пальника

Сучасна станція очищення пальників TCS від ABICOR BINZEL – це швидка та проста в установці станція, що підходить практично для всіх типів робіт. Висока надійність і тривалість терміну служби забезпечується високоякісними компонентами, також вона характеризується екологічністю та безпекою праці.

Основні функції станції очищення:

- Точне та ефективне очищення практично всіх зварювальних роботизованих пальників;

- Надійна обробка фрезою, що підходить навіть для сильного налипання бризок;
- Точна фіксація газового сопла дозволяє утримувати пальник на місці протягом усього процесу очищення.

Вприскувач –FSI”:

- Точне економічне впорскування рідини від налипання бризок скорочує прилипання зварювальних бризок та збільшує інтервал обслуговування;
- Турбота про навколишнє середовище завдяки капсульній конструкції сопла та піддону, призначеного для збору відпрацьованої рідини, що стікає.
- Точна фіксація газового сопла дозволяє утримувати пальник на місці протягом усього процесу очищення.

Блок обрізки дроту:

- Об'єднані функції затискання та обрізки гарантують точне, високоякісне обрізання дроту та забезпечують оптимальне запалювання дуги, а також точне вимірювання TSP;
- Тривалий термін служби завдяки міцній конструкції;
- Точна довжина дроту контактного датчика.

5.4. Позиціонер виробів



Рис 5.4. Позиціонер FANUC POS-1AXES-500-H-30B-A

Одноосьовий обертач призначений для автоматичної зміни позицій виробу, що забезпечує його кероване обертання в процесі зварювання по горизонтальній осі, щоб забезпечити зручність проведення процесу зварювання та роботи оператора. Одноосьові позиціонери широко використовуються для виробів з прямолінійними швами, а також для циліндричних виробів з поздовжніми та кільцевими швами.

iCAT – датчик зіткнення, спеціально розроблений для зварювальних роботів із порожнистою рукою, шланговий пакет у яких проходить через вісь робота. iCAT пропонує найвищий рівень надійності та динаміки як для зварювальних пальників з повітряним охолодженням, так і з рідинним. У разі зіткнення пальника зі зварюваною заготовкою датчик зіткнення може забезпечити механічне відхилення аж до 10°. При цьому iCAT бере на себе функцію, що «амортизує». Це дозволяє уникнути серйозного пошкодження зварювального пальника, периферійних пристроїв або робота.

Вбудована функція захисту є додатковим джерелом безпеки для iCAT, негайно зупиняючи робот у випадку «аварії».

5.5. Розробка модуля переміщення робота

У магістерській роботі для розширення можливостей зварювального робота нами було запропонована конструкція модуля переміщення робота. Дана розробка дає можливість збільшення зони роботи зварювального робота більше 100 %, що дозволить використання роботів при зварюванні довгомірних корпусів сільськогосподарської техніки

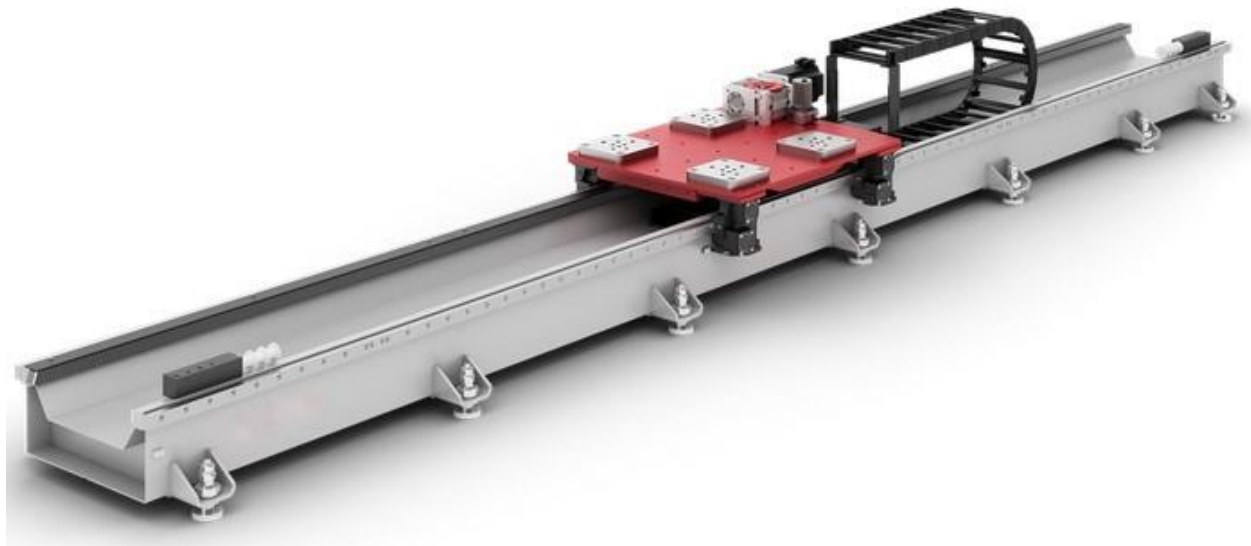


Рис 5.5. Загальний вигляд модуля переміщення робота

Модуль може переміщувати роботів вагою до шести тонн (в залежності від обраної моделі). Система відрізняється чудовою стабільністю і стійкістю до забруднення. Завдяки високому ступеню жорсткості, він працює тихо і добре розподіляє навантаження, навіть коли виконується аварійна зупинка. Напрямні рейки встановлені в закритому звареному модулі балки. Ще однією перевагою є те, що ролики можна легко регулювати ззовні по мірі зносу.

5.6. Планування роботизованого зварювального поста

Загальна компоновка роботизованого зварювального поста наведена на рис 5.6. Вона передбачає розміщення джерела живлення, роботизованого зварювального маніпулятора, балонів з захисними газами зони зварювання.

Може бути укомплектована зварювальним столом чи орієнтатором зварювальних деталей.

Робоча зона оператора захищена розробленим у розділі охорони праці фотоелектричним бар'єром безпеки.

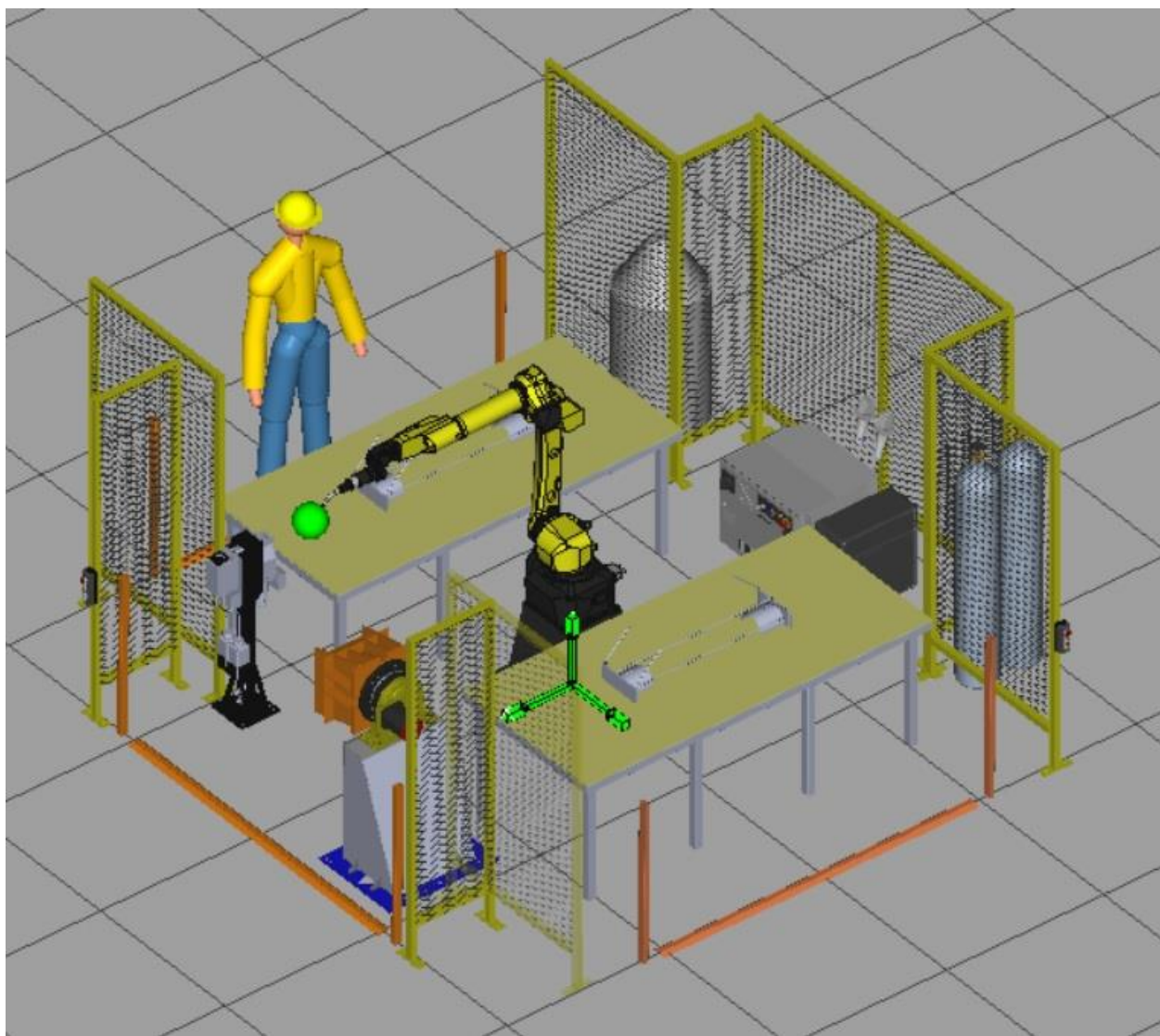


Рис.5.6. Загальний вигляд роботизованого зварювального поста.

РОЗДІЛ 6. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ

6.1. Види та причини травматизму

Виробничий травматизм при виконанні зварювальних робіт та шкідливий вплив зварювання і термічного різання на людину можуть призвести до тимчасової втрати працездатності (табл.)

Табл. 6.1. Основні види і причини травматизму при зварюванні і різанні

Травми і характер шкідливого впливу	Основні причини	Наслідки	Вид зварювання і різання
Ураження електричним струмом	Протікання через людський організм електричного струму силою 0,002-0,05 А може призвести до смерті	Електричні удари та травми	Усі види зварювання використанням електроенергії
Дія променевої енергії дуги	Виділення електричною дугою потужних потоків видимих світлових і невидимих (ультрафіолетових та ультрачервоних) променів та їх дія на незахищені органи зору та шкіри	Електроофтальмія, катаракта, опіки шкіри	Дугове зварювання захисних газах відкритою дугою
Дія токсичних речовин	Утворення токсичних газів, парів та аерозолів, які складаються з оксидів металів і їх домішок, а також продуктів згорання і випаровування захисних покриттів основного металу (цинку, свинцю тощо), компонентів	Захворювання органів травлення, пневмоконіоз	Дугове зварювання покритими електродами і флюсом, зварювання різання плакованих кольорових металів

	покриттів електродів, флюсів і паст		
Вибухонебезпечність при роботах із застосуванням кисню, з посудинами під тиском і при ремонті посудин з-під палива	Утворення вибухових сумішей з повітрям і киснем. Ударна дія, неправильне транспортування або експлуатація, перегрів газових балонів. Утворення сумішей з повітрям, парів горючих рідин (у замкнутому просторі), вибухонебезпечних при дії високих температур	Наслідки вибухів	Зварювання дугове і захисних газах, термічне різання
Теплові опіки	Дія на незахищену шкіру високої температури дуги, іскр, нагрітого металу, флюсу і т.д.	Опіки різного ступеня	Всі види зварювання і різання з нагріванням
Метеорологічні умови	Низька і висока температури повітря, сильні повітряні потоки, опади	Переохолодження, перегрівання, застуда	Зварювання, термічне різання на будівельних майданчиках
Пожежна безпека	Дія на вогненебезпечні матеріали відкритої дуги, іскр, розплавленого металу, флюсу	Наслідки пожежі	Всі види зварювання і різання з нагріванням

Електричний струм (постійний і змінний) небезпечний для людини, а змінний струм 3-5 разів небезпечніший від постійного. Ступінь небезпеки залежить від умов включення людини в коло напруги. Сила струму, що протікає через організм людини – 1000 Ом. Ураження найбільш небезпечне при включенні людини у двофазне коло, коли на організм людини діє повна напруга кола при порівняно невеликому опорі. Менш небезпечним є

включення людини в однофазне коло, коли коло замикається через землю (або повітря) при загальному збільшеному опорі.

Види ураження електричним струмом:

електричні удари (уражуються нервова система, м'язи грудної клітки і шлуночків серця;

можливий ***параліч*** дихальних центрів і втрата свідомості);

травми (опіки шкіри, тканин м'язів і кровоносних судин).

Світлова радіація, яка діє на незахищені органи зору впродовж 10-30 с у радіусі до 1 м від дуги, може викликати **сильну різь, сльозотечу і світлобоязнь**. Довготривала дія світла дуги за таких умов може призвести до більш важких захворювань (**електроофтальмія, катаракта**). Дія променів зварювальної дуги на органи зору **має вплив на відстані до 10 м від місця зварювання**. Підвищена яскравість променів дуги спостерігається в захисних газах, особливо при зварюванні плавким електродом алюмінію в аргоні.

Шкідливі речовини (гази, пара, аерозоль) при зварюванні виділяються внаслідок фізико-хімічних процесів, які виникають при плавленні й випаровуванні зварюваного металу, компонентів покриття електродів і зварних флюсів. Дія зварювального аерозолу може призвести до появи професійних інтоксикацій і пневмоконіозу, розвиток і важкість перебігу яких залежить від хімічного складу та концентрації шкідливих речовин (оксидів заліза, марганцю, хрому, цинку, свинцю, вуглецю, азоту, газоподібних фтористих з'єднань).

Вибухонебезпечність зумовлюється застосуванням при зварюванні й різанні кисню, захисних газів, балонів із стиснутими газами. Вибухонебезпечні хімічні з'єднання, які утворюються під час ремонту резервуарів та іншої тари для зберігання горючих рідин, потребують спеціальних заходів для попередження вибухів.

Теплові опіки, удари та поранення можуть виникнути внаслідок дії високої температури джерел зварювального тепла і значного нагрівання металу, а також через обмежену можливість огляду робітником

навколишнього простору у зв'язку з проведенням робіт з використанням щитків, масок і окулярів із світлозахисним склом. Зварникам і різальникам, які зайняті в будівництві, часто доводиться працювати поблизу діючих будівельно-монтажних машин, у важкодоступних місцях на тимчасових підмостках, на великій висоті, у котлованах, траншеях, що значно підвищує небезпеку травматизму.

Несприятливі кліматичні умови діють на зварників (різальників), будівельників більше половини часу року, тому що їм доводиться працювати переважно на відкритому повітрі.

6.2. Охорона праці при дуговому зварюванні

До зварювальних робіт усіх видів не допускаються особи, яким не виповнилось 18 років.

При дуговому зварюванні та різанні необхідно дотримуватись таких **заходів безпеки:**

1. Надійно заземляти корпуси зварювальних апаратів і установок, затискачі вторинного кола зварювальних трансформаторів, призначені для підключення зворотного проводу, а також зварні вироби й конструкції.

2. Не торкатися голими руками (без діелектричних рукавиць) струмонесучих частин зварювальних установок, а також проводів без ізоляції або з пошкодженою ізоляцією.

3. Перед початком роботи перевіряти ізоляцію зварювальних проводів, зварювального інструменту й обладнання, а також надійність усіх контактних з'єднань зварювального кола.

4. При довготривалих перервах зварювального процесу відключати джерело зварювального струму.

5. Застосовувати як зворотній провід зварювального кола металеві конструкції і трубопроводи (без гарячої води або вибухонебезпечного середовища) тільки тоді, коли їх зварюють. Забороняється використовувати як зворотній провід зварювального кола контури заземлення, труби

санітарно-технічних пристроїв, металоконструкції закінчених будов і технологічного обладнання.

6. При прокладанні зварювальних проводів не допускати пошкодження ізоляції і стикання проводів із водою, маслом, стальними канатами, шлангами і трубопроводами з горючими газами та киснем, з гарячими проводами.

7. Гнучкі проводи електричного керування зварювальної установки при значній їх протяжності поміщати в гумові або брезентові рукави.

8. Надійно заземляти металевий корпус осцилятора, конструкція якого має забезпечувати автоматичне відключення струму при відкриванні його дверцят.

9. Не ремонтувати зварювальне обладнання установки, які перебувають під напругою.

10. При зварюванні в особливо небезпечних умовах (усередині металевих посудин, трубопроводів, у тунелях, на понтонах):

- оснащувати електрозварювальні установки пристроями автоматичного відключення напруги холостого ходу або обмеження його до напруги 12 В з витриманням не більше ніж 0,5 с;
- виділяти робітника-помічника, який повинен перебувати поза посудиною для спостереження за безпечністю роботи зварника. Зварникові видають пояс зі шнурком, кінець якого завдовжки 2 має тримати робітник-помічник.

11. не допускати до дугового зварювання або різання зварників у мокрих рукавицях, взутті й спецодязі.

12. Ремонтувати ємкості що використовувалися під горючі рідини, тільки після дво-триразового промивання їх водним розчином каустичної соди або тринатрійфосфату, кип'ятінням або продуванням парою.

13. Під час дощу роботи на відкритому повітрі необхідно вести тільки за наявності відповідних захисних пристроїв (навіси, дашки і т.д.).

14. У разі ожеледиці або вітру більше шести балів виконувати зварювання або різання на висоті не дозволяється.

15. При захворюванні очей від світлової радіації дуги необхідно негайно звернутися до лікаря, за відсутності швидкої медичної допомоги роблять примочки очей слабким розчином питної соди.

При ураженні електричним струмом необхідно:

- терміново відключити струм вимикачем, який розташований найближче, або відділити потерпілого від струмоведучих частин, використовувати сухі підручні матеріали(дошку і т.д.), після чого покласти його на теплу підстилку і по можливості зігріти;
- негайно викликати медичну допомогу, адже затримка більше 5-6 хвилин може призвести до непоправних наслідків;
- у разі втрати постраждалим свідомості звільнити його від тісного одягу очистити рот від сторонніх предметів та негайно приступити до виконання штучного дихання, продовжуючи його до прибуття лікаря або відновлення нормального дихання.

Для захисту очей і обличчя зварника від світлової радіації електричної дуги застосовують електричні щитки, маски або шоломи із світлофільтрами, призначеними для захисту очей від ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання. Світлове випромінювання дуги послаблюється світлофільтрами $10^2 - 10^6$ разів. Застосовують скляні світлофільтри серії С, які поділяють на 13 класів. Вони забезпечують захист очей від випромінювання при зварюванні та струмах від 5 до 1000 А. Вибирають світлофільтри залежно від виду зварювання і сили струму.

6.3. Комплект двохпроменевого фотоелектричного бар'єру для системи безпеки оператора

Фотоелектричні бар'єри безпеки - це, в першу чергу, фоточутливе обладнання, яке складається з випромінювача, що випускає один або більше променів, прийнятих приймачем. Таким чином бар'єр створює контрольовану зону. У другу чергу, вони обладнані власною логікою безпеки.

При потраплянні будь-яких предметів в контрольовану зону, система миттєво подає сигнал на контролер працюючого обладнання, або безпосередньо на захисний контур блокування рухів обладнання. Результат - миттєва зупинка обладнання.



Рис 5.1. Хагальний вигляд двопроменевого захисного бар'єру.

РОЗДІЛ 7. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Розрахунок вартості зварювальних робіт

Використання нескладної формули з урахуванням важливих факторів, що впливають на підсумкову вартість послуг, допоможе розраховувати вартість зварювальних робіт різної складності

Фактори, що впливають на ціноутворення

Якщо ми застосуємо науковий підхід розрахунку реальної цінності роботи, з'ясується, що на цей показник впливає багато чинників, які враховуються при призначенні ціни на зварювальні послуги.

Вартість зварювального обладнання, витратних матеріалів та комплектуючих, монтаж, терміновість, складність та інші фактори суттєво впливають на підсумкову вартість роботи зварювальника.

Обсяг зварювальних робіт

Важливим фактором, що впливає на вартість послуги, є обсяг роботи, що виконується. Від цього критерію залежить кількість досвідчених зварювальників на об'єкті та кількість підсобних робітників, необхідних для реалізації проекту, а також скільки часу вони працюватимуть та їхня зарплата.

Обсяг роботи можна вимірювати в тоннах, в погонних або квадратних метрах, залежно від особливостей завдання.

Складність завдання

Кваліфікований зварник, який вирішує складні завдання, отримує значно більше, але й часу на роботу витрачає більше. Провести точний розрахунок зварювальних робіт досить складно, оскільки він включає такі додаткові критерії:

- особливості конструкції (що менше деталей, що з'єднуються, то ціна нижча);

- необхідність застосування унікального обладнання;
- зварюваність матеріалів виготовлених деталей;
- необхідність вживання додаткових заходів щодо покращення міцності зварювальних швів;
- зручність проведення зварювальних робіт, доступність місць з'єднання деталей у металоконструкціях;
- складність додаткових пристроїв та вартість застосовуваного зварювального апарату;
- конфігурація та складність швів;
- орієнтація деталей та місць з'єднання у просторі;
- схильність конструкції до деформацій після термічної обробки.

Враховуючи всі фактори, розраховуємо точний час на роботу й виставляєм вартість за зварювальні роботи.

Використання різних технологій зварювання

На вартість послуги впливає також матеріал, що буде зварюватися, і технологія накладання шва. Так, зварювання труб або арматури має досить низьку вартість, а ціна на нероз'ємне з'єднання нержавіючої сталі або алюмінію в інертному середовищі значно вища. Також різниться [вартість зварювального апарату](#), комплектуючих та витратних матеріалів.

Терміновість проведення робіт

Показник залежить від терміновості проведення необхідних робіт. Така процедура зазвичай проводиться в аварійному порядку,

Транспортні витрати (паливо, оренда автомобіля) також враховуються у кінцевій вартості робіт.

Види робіт

Коефіцієнт складності вводитьься в оплату праці зварювальника при роботі в стиснених умовах на висоті або в траншеї. Для різних ситуацій цей показник становить від 1,1 до 2. На нього збільшується вартість замовлення.

Формула для розрахунку вартості зварювальних робіт

$$(t_{раб} + t_d) \times CT + (Зд + З_{мат} + A_o)$$

6.1.

Де:

t_{раб} – час роботи;

t_d – час на підготовку робота;

CT – оплата за годину;

Зд - паливо та амортизація транспортного засобу;

З_{мат} - витрати на витратні матеріали;

A_o - амортизація зварювального обладнання.

Підставивши необхідні значення, отримуємо вартість для певного виду зварювальних робіт.

Проведені розрахунки показують, що вартість роботизованих зварювальних робіт дає економію 70-80 % від вартості ручного зварювання.