

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“___” _____ 2024 р.
Зав. кафедри ___ к.т.н., доцент ___
(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис) А.В. Войтік
(ініціали, прізвище)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
магістр
(освітній рівень)

Тема роботи: «Обґрунтування параметрів автоматичного керування процесом електродугового зварювання рами бункера коренезбирального комбайна»

Виконав: студент 2 курсу, групи 23м-ім
освітньої програми _____ Магістр
спеціальності _____ 208
«Агроінженерія»
Хитров Вадим Миколайович
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор Дідур В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма: _____ магістр _____

Спеціальність: _____ 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ **А.В. Войтік**
“ ____ ” _____ **2024 р.**

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ **Хитрову Вадиму Миколайовичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування параметрів автоматичного керування процесом електродугового зварювання рами бункера коренезбирального комбайна»

керівник роботи _____ **д.т.н., професор Дідур В.В.** _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“14” листопада 2024 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ **25.11.2024 р.** _____

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі. Перелік несправностей. Дані для дослідження.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

– 00000

5. Перелік презентаційних матеріалів: презентація (не більше 20 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Дідур В.В., професор		

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2024 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	30.04.2024 р.	
2.	Розділ 1.	14.05.2024 р.	
3.	Розділ 2.	28.05.2024 р.	
4.	Розділ 3.	11.06.2024 р.	
5.	Розділ 4.	25.06.2024 р.	
6.	Розділ 5.	24.09.2024 р.	
7.	Виконання ілюстративної частини роботи	23.10.2024 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	25.11.2024 р.	

Студент

(підпис)

Хитров В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дідур В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему "Обґрунтування параметрів автоматичного керування процесом електродугового зварювання рами бункера коренезбирального комбайна" складається зі вступу та чотирьох розділів пояснювальної записки, викладених на 82 сторінках, з 26 ілюстраціями та 11 таблицями.

Метою дипломного проєкту є підвищення якості зварювання рами бункера коренезбирального комбайна шляхом обґрунтування параметрів автоматичного керування процесом електродугового зварювання в середовищі захисних газів.

У роботі запропоновано: технологію зварювання рами бункера комбайна, засновану на оптимізації параметрів автоматичного керування процесом електродугового зварювання; проведено розрахунок режимів зварювання; рекомендовано раціональне обладнання та пристосування для виконання зварювальних робіт; розроблено заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: електродугове зварювання, захисний газ, напівавтомат, обладнання, складально-зварювальне пристосування, виріб.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ЗМІСТ.....	5
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Загальна характеристика виробу.....	8
1.2 Технологічний процес виготовлення конструкції з використанням механізованого зварювання	12
2 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА.....	16
2.1. Характеристика об'єкта або предмета дослідження.....	16
2.2. Автоматичне регулювання довжини дуги	24
2.3 Дослідження теплових характеристик процесу зварювання	31
3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	39
3.1 Розробка організаційно-аналітичних рішень.....	39
3.1.1 Загальна характеристика електродугового зварювання	39
3.1.2 Види та способи електродугового зварювання	47
3.1.3 Аналіз зварювання різних металів електродуговим способом	50
3.2 Розробка конструкторських рішень.....	54
3.2.1 Вибір обладнання та пристосувань.....	54
3.2.2 Розрахунок параметрів режиму зварювання.....	58
3.2.3 Вибір і обґрунтування зварювального обладнання та пристосувань.....	61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	67
4.1. Характеристика і аналіз потенційних небезпек в цеху.....	67
4.2. Заходи пожежної безпеки при експлуатації обладнання.....	70
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	73
ВИСНОВОК.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

ВСТУП

Під час дугового зварювання, особливо в положеннях, що відрізняються від нижнього, можуть виникати труднощі зі стабільністю горіння дуги, витіканням рідкого металу зі зварювальної ванни, провисанням ванни та погіршенням формування шва. Щоб отримати якісне зварне з'єднання, необхідно вирішити питання щодо утримання рідкого металу у зварювальній ванні та формування шва з певною геометрією.

Дугове зварювання є найпоширенішим завдяки простоті його виконання, тому вирішення цих проблем залишається актуальним. Для створення нероз'ємного з'єднання під час зварювання плавленням кромки металу (основний метал) і додаткового матеріалу (зварювального дроту тощо) розплавляються, зливаючись у спільну зварювальну ванну, де відбуваються фізико-хімічні процеси, формуючи міцні металеві зв'язки.

Зварювання є одним із найбільш поширених технологічних процесів. Воно дозволяє з'єднувати різні матеріали: метали, пластмаси, скла та навіть різнорідні матеріали. Основне застосування зварювання знаходить у виробництві нових конструкцій, ремонті техніки та створенні двошарових матеріалів. Міцність зварних з'єднань часто не поступається міцності суцільного металу.

Метою дослідження є підвищення технологічної ефективності зварювання рами бункера комбайна шляхом застосування методу електродугового зварювання в середовищі захисних газів.

Технологічний процес електродугового зварювання рами бункера комбайна в захисному газовому середовищі.

Параметри та режими електродугового зварювання рами бункера комбайна.

Дослідження виконане із застосуванням основних положень теорії автоматичного керування процесом електродугового зварювання, а також статистичних та графічних методів.

Обґрунтовано технологічний процес, основні параметри та режими електродугового зварювання рами бункера в захисному середовищі.

Встановлено основні параметри автоматичного керування зварювальним процесом.

Розроблено та обґрунтовано удосконалений метод зварювання рами бункера комбайна з використанням електродугового зварювання в захисних газах та автоматичного керування процесом. Подано рекомендації щодо використання методу та вибору оптимальних параметрів зварювання.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика виробу

Рама бункера коренезбирального комбайна є складовою частиною бункера, який використовується для накопичення зібраних коренеплодів. Виготовляється зі сталі марки ВСтЗпс, що широко застосовується в будівництві та машинобудуванні. Цей матеріал характеризується відносною дешевизною, хорошими технологічними властивостями і забезпечує необхідні характеристики для виготовлення конструкцій.

Бункер бурякозбирального комбайна складається з заготовок, які виготовляються з листового прокату та фасонних профілів, таких як кутники та фасонні труби. Окрім деталей, що виготовляються безпосередньо з цих заготовок, деякі компоненти постачаються іншими цехами підприємства для подальшого виконання складально-зварювальних операцій.

Процес виготовлення заготовок включає такі операції:

- Правлення — виконується на правильних валках у холодному стані.
- Розмічування — проводиться на спеціальних розмічувальних станах.
- Різання — здійснюється газополуменевим або механічним способом.
- Очищення — включає механічні та хімічні методи. Забруднення, іржу та окалину видаляють за допомогою дробоструменевих апаратів, а хімічні методи застосовують для знежирення та очищення поверхонь.

Заготовки повинні відповідати таким вимогам:

- Забезпечувати можливість зварювання в складально-зварювальних пристроях;
- Надати доступ до місць зварювання;
- Дозволяти виконувати зварювання в нижньому положенні;
- Розміщення зварних швів на ділянках, які не піддаються значним навантаженням.

Заготовки для бункера бурякозбирального комбайна повинні відповідати кільком вимогам, зокрема:

- Забезпечувати мінімальні пластичні деформації після попередніх технологічних операцій;

- Дозволяти досягти розмірів, зазначених у кресленнях, та забезпечувати можливість контролю цих розмірів.

Для виготовлення бункера застосовується метод електродугового напівавтоматичного зварювання плавким електродом у середовищі захисного газу. Як захисний газ використовується вуглекислий газ, який постачається в балонах у рідкому стані відповідно до ГОСТ 8050-85.

Зварювання виконується напівавтоматом типу ПДГ-512. Основними елементами зварювальної головки є пальник, через який проходить шланг, і мундштук, що подає струм до електродного дроту. Механізм подачі дроту, який складається з електродвигуна та редуктора, розташований окремо від робочого місця зварювальника та проштовхує дріт через гнучкий шланг довжиною 3-4 метри до пальника. Контрольна апаратура і система керування знаходяться в окремій шафі, а схема керування побудована на напівпровідникових елементах, що забезпечують необхідний режим зварювання та налаштування.

Подача дроту здійснюється через уніфікований пальник з трикілометровим шлангом, обладнаним швидкодіючими клемниками. Наконечники, сопла, клеми та інші елементи пальників взаємозамінні, що спрощує вибір найбільш підходящого пальника в процесі роботи. Напівавтомат ПДГ-512 укомплектований зварювальним випрямлячем ВДГ-503-3, який забезпечує як жорсткі, так і плавні зовнішні характеристики. Проте недоліком таких випрямлячів є їх висока чутливість до коливань напруги в мережі живлення.

Зварювання бункера проводиться на постійному струмі зворотної полярності. Відстань від сопла пальника до поверхні виробу становить 15-20 мм, а кут нахилу пальника — 5-10°. Це забезпечує стабільність процесу зварювання, надійний захист шва та високу якість його виконання. Зварювання здійснюється "кутом назад" із застосуванням суцільного електродного дроту марки Св08Г2С діаметром 1,6 мм, який підходить для зварювання у всіх просторових положеннях. Наплавлений метал добре

розкислюється завдяки вмісту марганцю та кремнію, що надає йому високі міцнісні та пластичні властивості. Параметри режимів зварювання наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Параметри режимів зварювання в CO₂

Катет шва, мм	2	4	5
Діаметр електродного дроту, мм	1,6	1,6	1,6
Струм зварювання, А	220	245	250
Напруга дуги, В	26	27	28
Швидкість зварювання, м / год	14	18	22
Швидкість подачі дроту, м / год	248	254	259
Витрати газу, л / год	840	90С	960
Виліт електроду, мм	14	17	20

Низьковуглецеві сталі відрізняються гарною зварюваністю практично всіма методами зварювання плавленням і забезпечують необхідну якість з'єднань. Для їх зварювання застосовуються поширені зварювальні матеріали, що робить процес зручним і універсальним.

Для зварювання тонколистових сталей товщиною від 0,5 до 5 мм використовують електроди малих діаметрів — від 1 до 3 мм. Ці електроди також підходять для виконання кореневого (першого з'єднувального) шва під час з'єднання товстих металевих поверхонь.

При зварюванні товстих листів, на відміну від тонких, необхідна попередня підготовка поверхонь. Для цього краї листів скошують, щоб забезпечити правильний стик. Потім кореневий шов виконується електродом малого діаметра, що дозволяє уникнути пропалювання та надійно зафіксувати деталі. Після цього електродом більшого діаметра проводиться пошарове заповнення зварювального шва для досягнення необхідної міцності та якості.

Найбільш поширеним зварювальним дротом для механізованого зварювання конструкційних вуглецевих сталей, зокрема сталі ВСтЗпс, є дріт марки 08Г2С та її міжнародні аналоги. Відповідно до ГОСТ 2246-70, цей дріт використовується у зварювальних верстатах для зварювання вуглецевих і низьковуглецевих сталей. Завдяки своїм високим зварювально-технологічним

характеристикам, дріт СВ08Г2С забезпечує надійність зварювальних з'єднань. Діаметр дроту варіюється від 0,8 мм до 4 мм.

Однією з ключових переваг дроту СВ08Г2С є його хімічний склад, який гарантує утворення міцного та якісного зварного шва. Це дозволяє виконувати навіть складні зварювальні операції з високою надійністю. Хімічний склад дроту СВ08Г2С представлений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад зварювального дроту СВ08Г2С

Назва	C	Mn	Si	S	P
Показник, %	0,077	1,318	0,845	0,013	0,013

Робоче місце зварника може бути як стаціонарним, так і мобільним. Але в будь-якому випадку у зварника повинні бути наявності: джерело електроживлення, зварювальний трансформатор, зварювальні дроти, тримач електрода, захисний щиток для особи, щільна (брезентовий) захисний одяг, захисні щити, засоби пожежогасіння, необхідні інструменти, азбестовий лист для настільки в місці зварювання.

Рама зварена з кутників № 10.

Товщина полки кутника 10 мм, рис. 3.1.

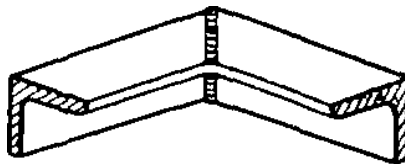


Рисунок 3.1 – Кутник № 10

Конструкція, що складається зі зварених кутових і стикових швів, виконується з односторонньою V-подібною обробкою кромek. Процес зварювання металу включає три основні етапи:

Підготовка деталей: Перед початком зварювання металеві деталі повинні бути ретельно очищені в місцях майбутнього шва від іржі, масла, вологи, фарби, окалини, льоду та інших забруднень. Наявність таких матеріалів може спричинити дефекти в зварному шві. Очищення проводять навіть на тих частинах металу, які знаходяться поза зоною зварювання,

оскільки під час транспортування або обробки ці забруднення можуть потрапити до шва.

Зварювання: Після підготовки деталей проводять їх з'єднання. Для зварювання використовують різні техніки залежно від специфіки з'єднання. У нашому випадку застосовується механізоване газополуменеве різання. Різання сталевих заготовок виконується за допомогою ручних або напівавтоматичних різаків, а також механічними засобами, такими як ножиці або зубчасті пилки. Газополуменевий метод різання є найбільш доцільним для даного типу конструкції, оскільки він дозволяє ефективно підготувати крайки для зварювання.

Зачищення: Після завершення зварювання виконують зачистку швів для видалення окалини та залишків зварювальних матеріалів. Це забезпечує якість з'єднання та підготовку шва до подальших операцій, таких як контроль або обробка.

Збірка деталей для зварювання контролюється з використанням шаблонів для забезпечення точності, як показано на рис. 3.2а.

На рис. 3.2б наведено параметри прихватів.

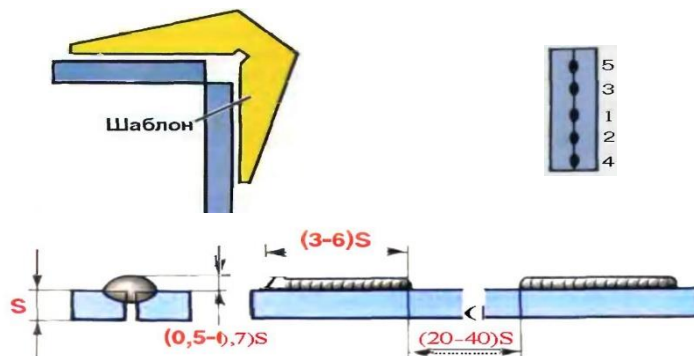


Рисунок 3.3 – Схема контролю якості шва та параметри прихватів

1.2 Технологічний процес виготовлення конструкції з використанням механізованого зварювання

Технологія виконання зварних швів визначається типом та просторовим розташуванням шва. Типи і конструкції різних видів зварних з'єднань, що використовуються при виробництві рами бункера комбайна, зображені на рис. 3.3.

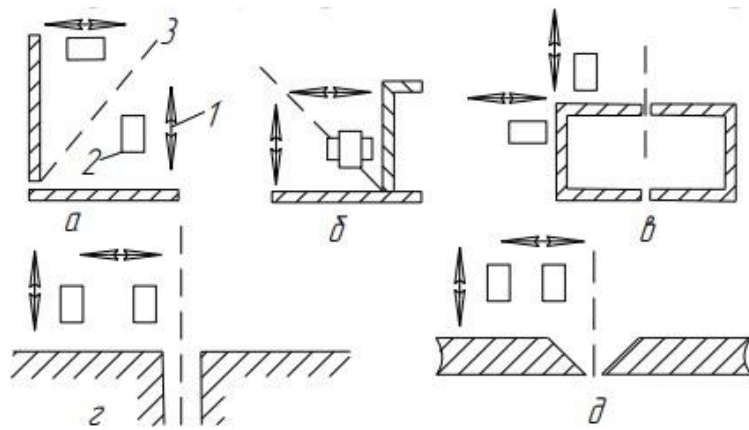


Рисунок 3.3 – Типи та конструкції зварних з'єднань: а – кутове (зсередини); б – таврове, з однією вузькою полицею; в – стикове (при точних розмірах елементів, що зварюються,); г – стикове, у вузький глибокий зазор; д – стикове, з обробленням кромки; 1 – напрямок переміщення; 2 – датчик; 3 – вісь зварювального електрода

Нижні шви є найбільш зручними для виконання, оскільки розплавлений метал електрода під впливом сили тяжіння стікає в кратер, не впливаючи зі зварювальної ванни, а гази і шлак виводяться на поверхню металу. Тому, за можливості, зварювання рекомендується проводити саме в нижньому положенні.

Стикові шви без скосу кромки виконують шляхом наплавлення валика вздовж шва з незначним розширенням. Важливо забезпечити якісне проплавлення з'єднуваних крайок. Шов формують із посиленням, створюючи опуклість до 2 мм. Після завершення зварювання з одного боку, виріб перевертають, ретельно очищають від шлаку і патьоків, а потім заварюють шов з іншого боку.

Стикові шви з V-подібною обробкою при товщині кромки до 8 мм виконують в один шар, а при більшій товщині — в два шари або більше. Перший шар наплавають висотою 3-5 мм, використовуючи електрод діаметром 3-4 мм. Наступні шари виконують електродами діаметром 4-5 мм. Перед нанесенням кожного нового шару важливо ретельно очистити оброблену частину шва від шлаку та металевих бризок за допомогою металевої щітки.

Після заповнення всієї обробленої частини шва виріб перевертають, вибирають невелику канавку в корені шва, яку дбайливо заварюють. Якщо

неможливо виконати підварювання з іншого боку, необхідно особливо обережно контролювати проплавлення першого шару.

Стикові шви з Х-подібною обробкою виконуються за тим же принципом, що й багатошарові шви, на обидва боки обробки.

Кутові шви в нижньому положенні краще виконувати в техніці "човник" (рис. 3.4а). Якщо виріб не можна встановити в таке положення, потрібно особливо ретельно контролювати якість проплавлення кореня шва та з'єднаних крайок.

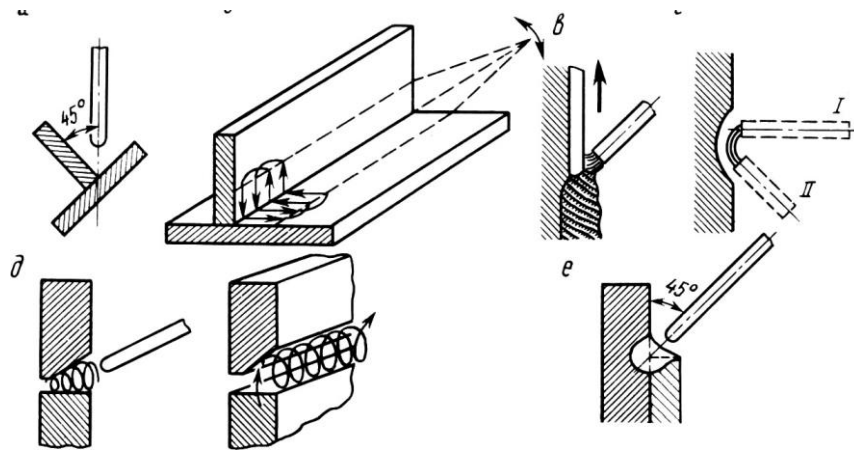


Рисунок 3.4 – Техніка виконання зварних швів

Зварювання слід починати з нижньої кромки, поступово переміщуючись через обробку шва на вертикальну кромку, як показано на рис. 3.4б. Під час накладення багатошарового шва перший шар виконують нитковим швом, використовуючи електрод діаметром 3-4 мм.

Особливо важливо забезпечити якісне проплавлення кореня шва. Після зачистки обробленого шва наплавляють наступні шари. Техніка зварювання у вертикальному положенні має свої особливості порівняно з нижнім положенням. При зварюванні одношарових швів спочатку необхідно направити зварювальну ванну на всю площу поперечного перерізу обробки, а при багатошарових швах — на площу перетину кожного окремого шару. При накладенні одношарових швів на конструкціях товщиною 8-10 мм кут нахилу електрода до осі шва має бути не менше 110° .

Дугу запалюють у корені шва та ведуть по одній зі скошених крайок, забезпечуючи проплавлення з затримкою дуги на краю зварювальної ванни на відстані 2-3 мм від поверхні. Коли розплавленого металу достатньо, дугу

переміщують до кореня шва і перекладають на протилежну крайку стику. Цей процес повторюється. Друга схема зварювання відрізняється переміщенням електрода за межі обробки на 1-2 мм із затримкою на крайці під час руху вгору.

Для отримання гладкого зворотного валика кореня шва кінець порошкового дроту пересувають уздовж стику в напрямку зварювання, виводячи дугу на нерозплавлені крайки у зазорі та переміщуючи її по зварювальній ванні. При товщині конструкції 16 мм одношаровий шов можна виконати за двома схемами, причому для рівномірного посилення кінець порошкового дроту додатково переміщують у поперечному напрямку із затримкою в центрі перетину обробки.

Техніка накладання першого шару багатошарових швів аналогічна виконанню одношарових швів. У багатошарових з'єднаннях кожен шар має бути товщиною 4-5 мм (рис. 11, в, г). Другий і наступні шари накладають із зменшеним вильотом дроту (30-50 мм), при цьому кут нахилу електрода відносно осі шва повинен складати не менше 110° .

Після виконання кожного шару шов необхідно ретельно очищати від шлаку. Особливо важливо звертати увагу на видалення шлаку в місцях, де шар прилягає до крайок, щоб уникнути дефектів і непроварів. Для запобігання непроварам і зашлаковуванню на початку шва, дугу слід запалювати трохи вище початкової точки і потім повернутися до початку шва. Також можна використовувати вивідні технологічні планки.

Якщо виникає необхідність перервати процес зварювання під час накладання першого шару вертикального шва, в місці перерви потрібно пропалити отвір діаметром 5-6 мм. Продовжувати зварювання слід з мінімальним вильотом дроту, попередньо зачистивши застиглу зварювальну ванну.

Зварювання виконується в два шари, з використанням електродного дроту діаметром 4 мм. При цьому:

- Сила струму повинна бути в межах 340-500 А.
- Напруга дуги — 32-36 В.
- Витрата захисного газу — 16-24 л/хв.

2 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Характеристика об'єкта або предмета дослідження

На рис. 2.1 зображено загальну схему системи автоматизованого керування або регулювання процесів електродугового зварювання рами комбайна.

У процесі зварювання основними керованими параметрами є ті, що відповідають за підтримання стабільної довжини зварювальної дуги. Для досягнення цієї стабілізації використовується система автоматичного керування (регулювання), побудована на основі відхилення напруги живлення зворотного зв'язку (рис. 2.2). В якості альтернативи може бути застосована система автоматизованого регулювання параметрів дуги (АРНД).

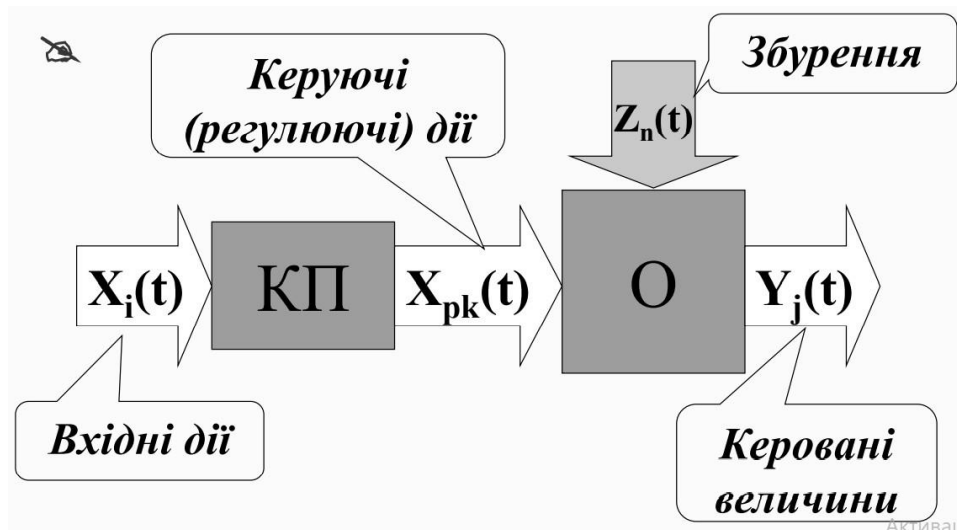


Рисунок 2.1 – Загальна схема принципу автоматичного керування процесом електродугового зварювання

У даній системі, під час зварювання плавким електродом, регулюється швидкість подачі V_n електродного дроту.

При цьому сигнал зворотного зв'язку дозволяє регулювати напругу живлення, яка у подальшому впливає, або регулює (змінює числове значення) швидкості подачі V_n електродного дроту.

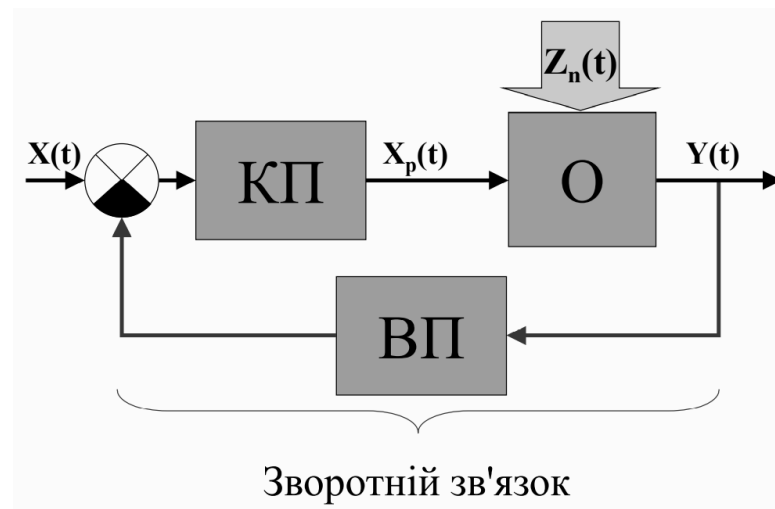


Рисунок 2.2 – Схема автоматичного керування процесом зварювання за відхиленням зі зворотнім зв'язком

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

Характеристика об'єкту керування при дуговому зварюванні наведена на структурній схемі 2.3.

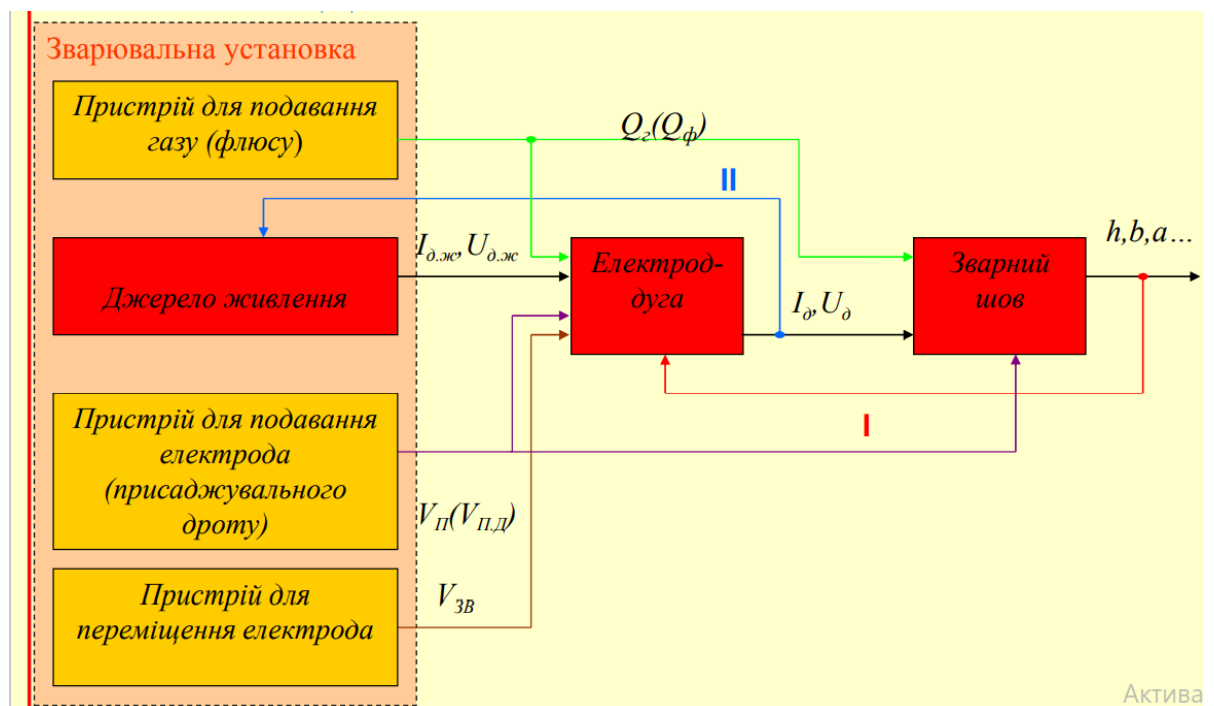


Рисунок 2.3 – Схема характеристики об'єкту керування

Системи автоматичного керування дуговим 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 циклом зварювання рами комбайна плавким електродом у середовищі захисного газу CO_2 наведено на рис. 2.4.

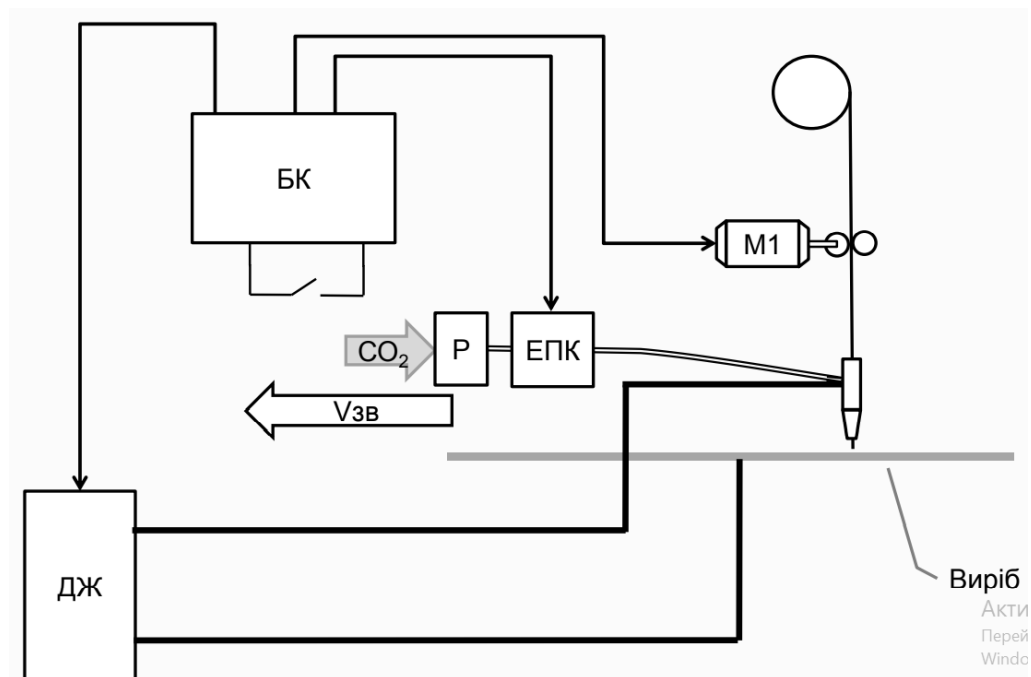


Рисунок 2.4 – Програмне керування циклом зварювання плавким електродом Система АРНД - автоматичне регулювання дуги саморегулюванням. Інші назви - системи з постійною швидкістю подавання електродного дроту, системи з незалежною швидкістю подавання електродного дроту.

Системи стабілізації параметрів довжини дуги підтримують з заданою точністю постійне значення керованої величини, або у нашому випадку – швидкість подачі V_n електродного дроту під час її відхилення від заданого режиму зварювання.

Систему автоматичного керування АРНД із зворотним зв'язком, що впливає на регулювання швидкості подачі електродного дроту, доцільно застосовувати у випадках, коли висуваються підвищені вимоги до якості зварювання. Особливого значення це має для забезпечення високої точності стабілізації напруги живлення.

Такі системи зазвичай використовуються під час зварювання та наплавлення основного металу під керамічними флюсами, а також у процесах прецизійного тонкошарового наплавлення легovanого шару основного металу.

Загальна функціональна схема системи АРНД з тиристорним приводом представлена на рис. 2.5. Ця схема обмежується контуром стабілізації енергетичних параметрів зварювальної дуги. На рис. 2.5 не зображено обладнання для переміщення пальника, подачі флюсу та іншого додаткового обладнання.

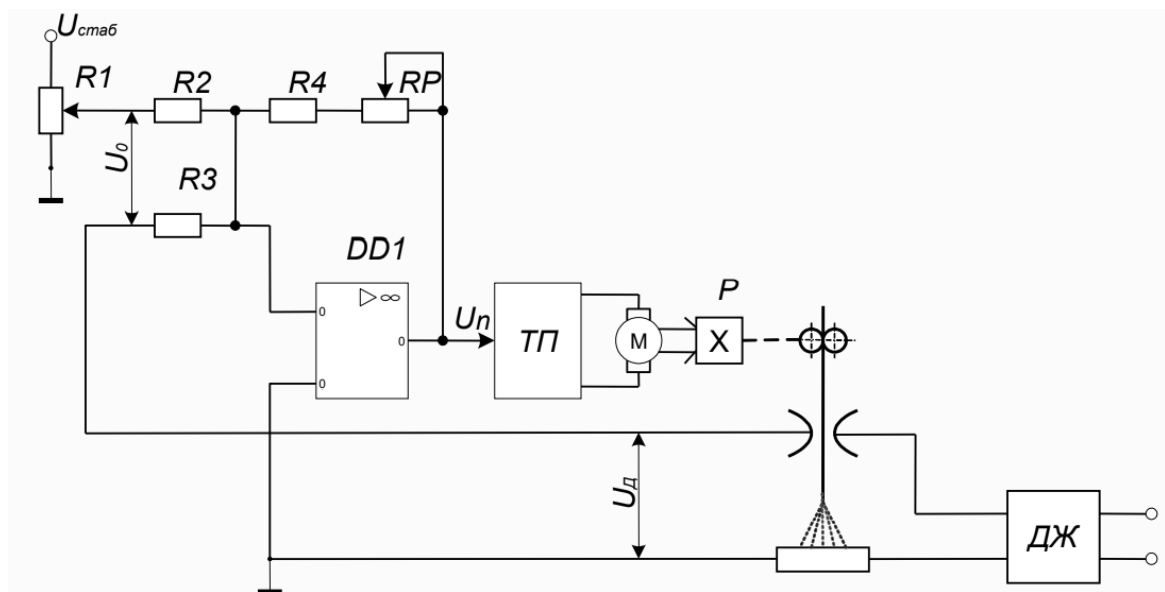


Рисунок 2.5 – Функціональна схема системи АРНД стабілізації енергетичних параметрів дуги

Загальна структурна схема зі спрощеною реалізацією системи автоматичного керування електродугового зварюванням плавким електродом АРНД наведена на рис. 2.6. При цьому згідно з рис. 2.6 регулятор швидкості подачі V_n електродного дроту утворений ланками I, II та III.

Всі передавальні функції, які присутні під час керування

швидкістю електродугового зварювання рами комбайна та їх опис наведені в табл. 2.1.

Згідно зі схемою рис. 2.6 ланки IV, V, VI, VII та ланка VIII утворюють контур саморегулювання, або контур регулювання відхилення напруги живлення електродугового зварювання плавким електродом системи керування АРНД.

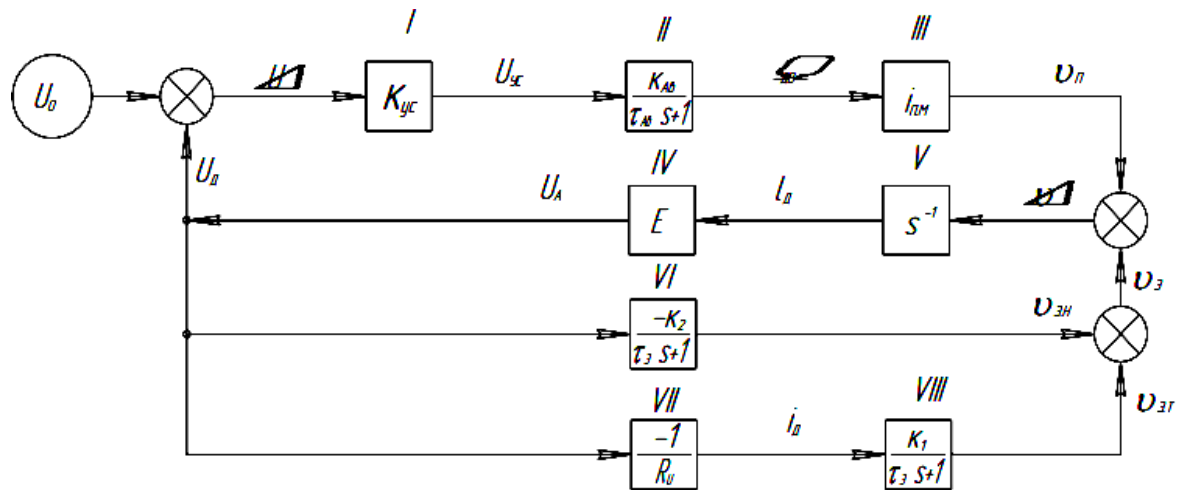


Рисунок 2.6 – Структурна схема системи АРНД

автоматичного керування швидкістю подачі електродного дроту.

У зв'язку з тим, що процеси плавлення основного металу знаходяться поза замкнутими контурами саморегулювання, із схеми усунені передавальні ланки, які відображають ці процеси. Крім того джерело живлення системи автоматичного керування швидкістю подачі електродного дроту прийняте безінерційним.

Таблиця 2.1 – Характеристика позначень структурної схеми системи АРНД швидкості подачі електродного дроту

Позначення складових	Математичний опис	Фізичне поняття
i_{PM}	$i_{PM} = V_{\Pi} / \Omega_{ДВ}$	Передавальне відношення механізму подачі редуктора
$k_{ДВ}$	$k_{ДВ} = \Delta \Omega_{ДВ} / \Delta U_{УС}$	Передавальний коефіцієнт швидкості двигуна
$k_{УС}$	$k_{УС} = \Delta U_{УС} / \Delta U$	Коефіцієнт підсилення підсилювача
$\tau_{ДВ}$	-	Постійна часу привода двигуна

Для автоматичного регулювання процесом електродугового зварювання рами комбайна вибираємо систему автоматичного регулювання АРНД з тиристорним приводом.

Функціональна електрична схема системи АРНД з тиристорним приводом і статичні характеристики системи АРНД для електродугового зварювання рами комбайна наведено на рис. 2.7.

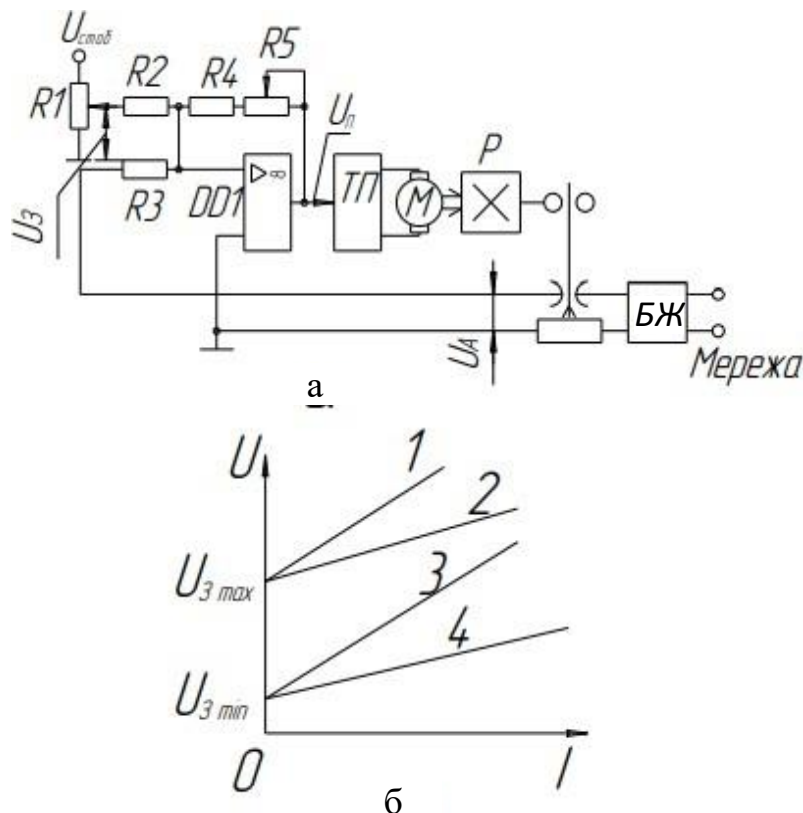


Рисунок 2.7 – Функціональна електрична схема (а) та статичні характеристики (б) системи АРНД із тиристорним приводом.

Принцип роботи системи автоматичного керування напругою живлення під час зварювання рами комбайна системою регулювання АРНД такий:

- порівнюють фактичне передавальне відношення механізму подачі редуктора $i_{ПМ}$ з заданою напругою дуги U_3 шляхом їх співставлення значень на вході операційного підсилювача $DD1$, рис. 2.7а;

- при відхиленні параметра проводять налаштування необхідного значення коефіцієнта підсилення підсилювача $k_{УС}$ за рахунок зміни величини опору $R5$, що рівнозначне регулюванню

необхідного коефіцієнта підсилення регулятора.

Загальний математичний опис системи автоматичного керування параметрами стабілізації дуги такий.

$$v_e = k_{cc} \cdot I_d - k_{ch} \cdot U_d$$

$$v_e = k_p \cdot (U_0 \cdot U_d)$$

$$k_p \cdot (U_0 \cdot U_d) = k_{cc} \cdot I_d - k_{ch} \cdot U_d$$

$$U_d = U_3 - \frac{k_{cc}}{k_p + k_{ch}} \cdot I_d$$

$$U_3 = \frac{k_p}{k_p + k_{ch}} \cdot U_0$$

Якщо виконується умова $R2 = R3 = R$, то керуюча напруга буде

$$u_{II} = k_{yc} (u_d - U_3),$$

де $k_{yc} = (R4 + R5) / R$ – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

Граничні значення напруги дуги (максимальне значення $U_{3,max}$ та мінімальне значення $U_{3,min}$, рис. 2.7б) установлювали потенціометром R1, рис. 2.7а. При цьому, згідно з рис. 2.7б, цим кожним граничним значенням відповідають статичні характеристики регулятора, відповідно, для максимального значення напруги $U_{3,max}$ (прямі 2 і 4) значення коефіцієнта регулювання буде максимальним, тобто $k_{max,рег}$, а для мінімального значення напруги $U_{3,min}$ (прямі 1 і 3) значення коефіцієнта регулювання буде мінімальним, тобто $k_{min,рег}$.

Зворотний зв'язок автоматичного керування процесом електродугового зварювання за напругою дуги використовується також для керування впливами не тільки на швидкість подачі електродного дроту, але і на електрорушійну силу (е.р.с.) джерела живлення або загального опору зварювального циклу.

Ця система з впливом на е.р.с., де порівнюються сигнали невідповідності між заданою і фактичною напругами дуги використовується для стабілізації напруги дуги після підсилення і необхідних перетворень.

Простіше всього така система регулювання параметрів дуги реалізується за допомогою джерела постійного струму з тиристорним випрямлячем.

Зварювальна головка з постійною швидкістю подачі дроту та випрямляч, що працює в режимі регулятора напруги, на відміну від раніше розглянутих систем саморегулювання дуги та АРНД, дозволяють забезпечити стабільність зварювального процесу за струмом і напругою навіть при коливаннях в електромережі.

Будь-які збурення швидкості подачі дроту, які можуть виникати через недостатню жорсткість приводу, овальність дроту або інші причини, призводять до відповідних змін у силі струму. Крім того, на струмі відображаються зміни вильоту електрода.

Щоб покращити статичні та динамічні характеристики регуляторів енергетичних параметрів дуги, можна використовувати системи з двома регуляторами. Це система АРНД, що регулює швидкість подачі дроту, і додатковий регулятор струму, який впливає на джерело живлення (рис. 2.8).

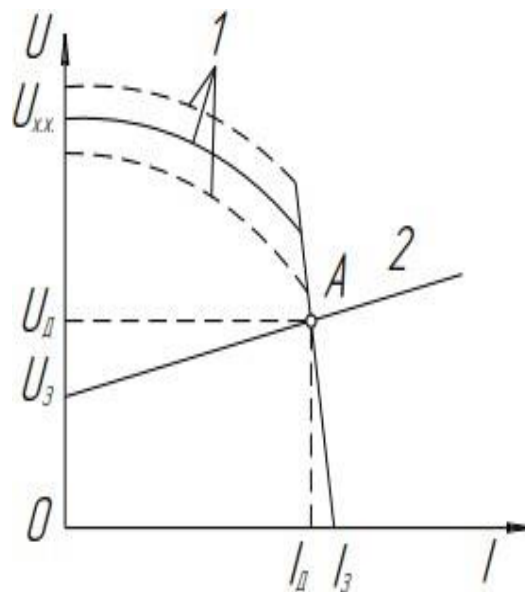


Рисунок 2.8 – Статичні характеристики системи автоматичного керування з регулюванням швидкості подачі електродного дроту та регулювання струму зварювання: 1 – зовнішні характеристики джерела живлення за різних напруг холостого ходу (вертикальна ділянка – статична характеристика регулятора струму з впливом на опір джерела живлення); 2 – статична характеристика АРНД

За відсутності збурень вильоту електрода ця система за своїми статичними властивостями аналогічна системі з постійною швидкістю подачі дроту та джерелом живлення — стабілізатором напруги на дузі. Проте, у

першому випадку динамічні характеристики можуть бути кращими, оскільки система реагує також на збурення швидкості подачі дроту.

Сучасні регулятори струму або напруги, що впливають на джерело живлення, використовуються в схемах універсальних зварювальних випрямлячів з тиристорним керуванням. Яскравим прикладом є поширений зварювальний випрямляч ВДУ-504.

При механізованому зварюванні основні збурення в режимі роботи викликаються коливаннями напруги електромережі та змінами вильоту електрода, які можуть виникати через мимовільні рухи руки зварника. У таких випадках найбільш доцільно застосовувати системи, що регулюють швидкість подачі дроту. Вони забезпечують оптимальний баланс між струмом і напругою, що дозволяє знизити статичні помилки, підвищити стабільність горіння дуги при малих струмах та зменшити розбризкування електродного металу.

2.2. Автоматичне регулювання довжини дуги

Однією з характерних особливостей зварювання неплавким електродом є відсутність автоматичного вирівнювання енергетичного стану дуги. Це призводить до того, що напруга і струм дуги залежать від її довжини. При подовженні дуги її статична вольт-амперна характеристика зміщується вгору і вправо, а при скороченні — вліво і вниз (рис. 2.9). Помилки ΔU Д.С. та ΔI Д.С., що виникають внаслідок змін електрорушійної сили (е.р.с.) джерела живлення, можуть бути усунуті за допомогою джерел зі стабілізованою напругою. Для корекції таких помилок використовується система автоматичного регулювання (САР) довжини дуги.

Основним джерелом інформації про довжину дуги є її напруга. Якщо припустити, що струм короткого замикання ($I_d \approx 0$), що є справедливим для джерел живлення зі стрімко спадними характеристиками, які застосовуються при зварюванні неплавким електродом, можна побудувати замкнену систему автоматичного регулювання напруги дуги (АРНД). Ця система використовує зворотний зв'язок за напругою дуги і називається системою АРНД з неплавким електродом.

У сучасних системах АРНД широко застосовується цифрове керування електроприводами, зокрема на базі крокових електродвигунів. Це дозволяє стабілізувати не тільки напругу дуги, але й регулювати інші параметри, як-от глибину занурення електрода у зварювальну ванну та підтримку постійного потоку захисного газу (відстань між соплом і металом).

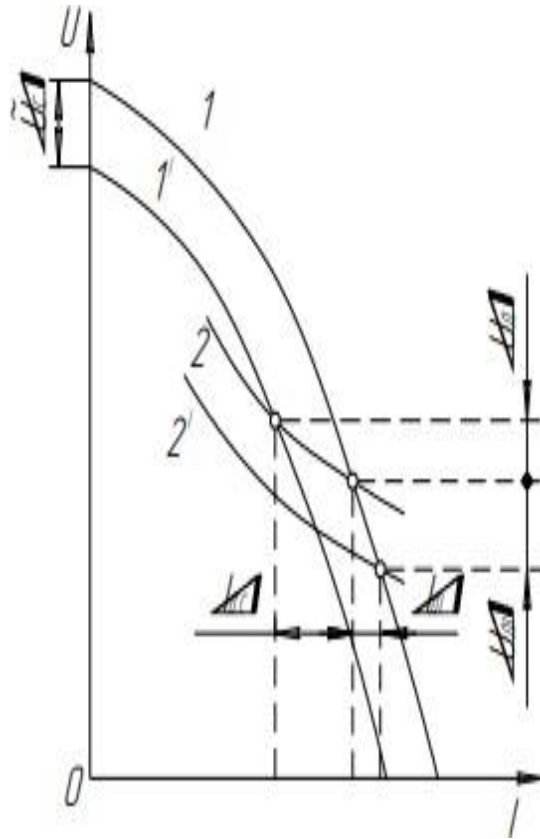


Рисунок 2.9 – Залежність довжини дуги від впливу збурювання напруги електромережі на статичні відхилення за струмом і напругою:

1–1' – зовнішня характеристика джерела живлення за коливання напруги в мережі; 2 – 2' – статична вольт-амперна характеристика дуги

У малопотужних зварювальних дугах залежність між довжиною дуги та напругою має нелінійний характер, тому для стабілізації довжини дуги необхідно застосовувати спеціальні вимірювальні перетворювачі. Вони дозволяють безпосередньо контролювати відстань між електродом і поверхнею зварювальної ванни. Найзручнішими для цієї мети є струминні пневматичні або електропневматичні датчики, які встановлюються на зварювальному пальнику над поверхнею виробу. Коли змінюється відстань між зварюваною поверхнею та соплом датчика, змінюється і аеродинамічний опір у зазорі між датчиком і виробом.

Зміна тиску аргону в камері датчика перетворюється на безперервний або дискретний електричний сигнал. Для прецизійного вимірювання відстані між зварювальним пальником і виробом із точністю до 0,1 мм застосовуються фотометричні, оптичні та інші перетворювачі.

У зоні зварювання існує певна інерційність теплових процесів, що впливає на формування зварного з'єднання, зокрема через значну інерційність розплавленого металу. Для кожного типу зварювання можна з високою точністю визначити наявні джерела збурень, що дозволяє точно розраховувати основні параметри та режими зварювання, такі як технологічні, енергетичні та кінематичні параметри. Це дає змогу ефективно усувати вплив збурень для забезпечення оптимальної компенсації їхнього впливу.

У системі автоматичного регулювання ключовим механізмом, що визначає якість зварювання, є пристрій для переміщення електрода. Контрольованими параметрами процесу електродугового зварювання є напруга живлення дуги U_{DU_D} та зварювальний струм I_{DI_D} . Також важливо контролювати такі параметри, як глибина провару h та відстань I_{DI_D} , яка визначає зазор між нижнім торцем електрода і контактною поверхнею зварюваного виробу.

Відповідно, регулюючими параметрами, або діями, є:

- швидкість переміщення електродного дроту V_{PD} ;
- напруга холостого ходу джерела живлення U_{xx} ;
- виліт електрода l_B ;
- опір зварювального кола Z_L ;
- частота і амплітуда вимушених коливань дуги.

Для обґрунтування технологічного процесу переміщення електродного дроту або швидкості його подачі можна використовувати програмні методи моделювання та контролю.

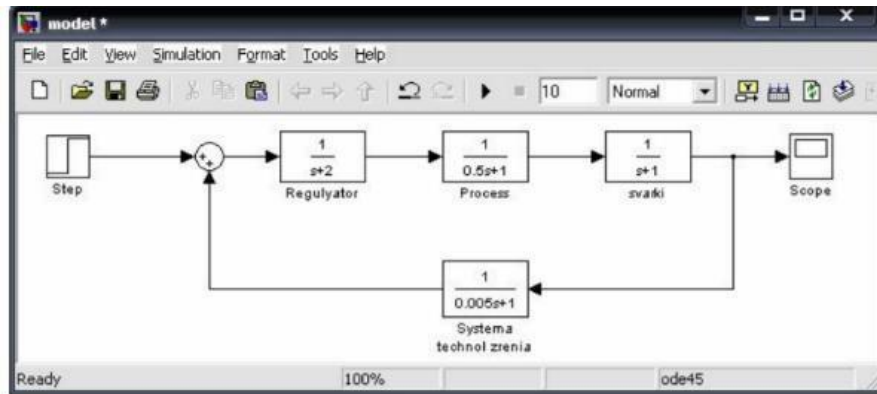


Рисунок 2.10 – Схема система автоматичного управління переміщення електрода

Система MATLAB використовується для імітаційного моделювання процесу автоматичного управління швидкістю подачі електродного дроту. Для реалізації автоматичного регулювання швидкості подачі електродного дроту була розроблена комп'ютерна програма, умовно поділена на кілька блоків.

Перший блок програми призначений для введення вихідних даних. У ньому вибирається діаметр електрода відповідно до існуючого стандартного ряду, який включає діаметри 5 мм, 6,8 мм та 8,5 мм. Після цього вибирається основний закон регулювання: ПІ-закон зі зворотним зв'язком або ПІД-закон регулювання, і задаються відповідні параметри регулювання (рис. 2.11).

Другий блок містить опис функціональних елементів системи управління зварюванням, які включені в закон регулювання. Ці елементи представлені у вигляді передавальних функцій, що моделюють динаміку системи.

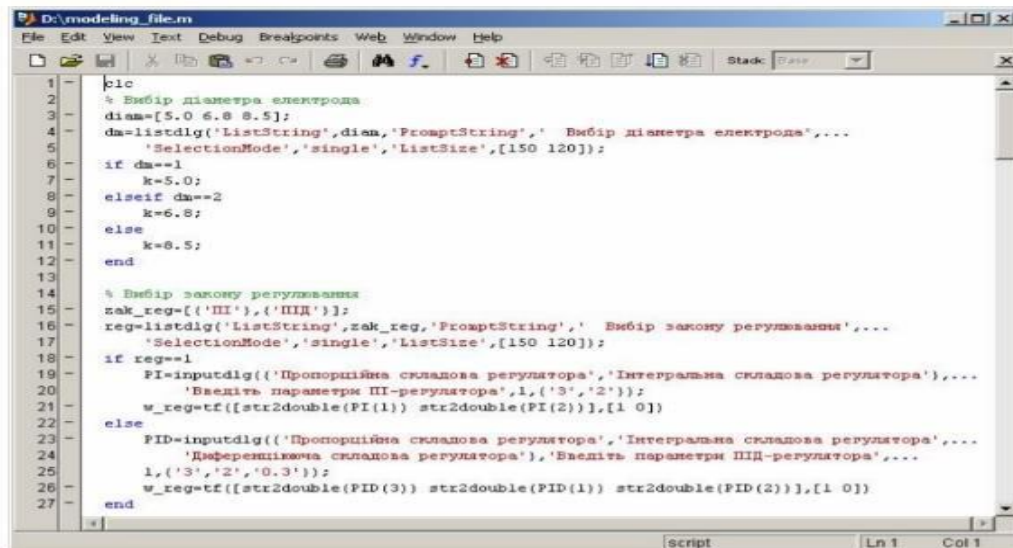


Рисунок 2.11– Введення вихідних даних

Окремо враховується вибраний тип регулятора (ПІ або ПІД) та його регулювальні параметри. Під час виконання розрахунків у другому блоці програми відбувається графічна побудова перехідної характеристики системи автоматичного управління технологічним процесом зварювання. Це дозволяє наочно оцінити динамічну реакцію системи на вхідні зміни.

Крім того, цей блок дає можливість коригувати час регулювання, що дозволяє оптимізувати масштаб побудови перехідного процесу. За допомогою зміни часу регулювання можна покращити візуалізацію перехідного процесу, забезпечуючи більш детальний аналіз поведінки системи (рис. 2.12).

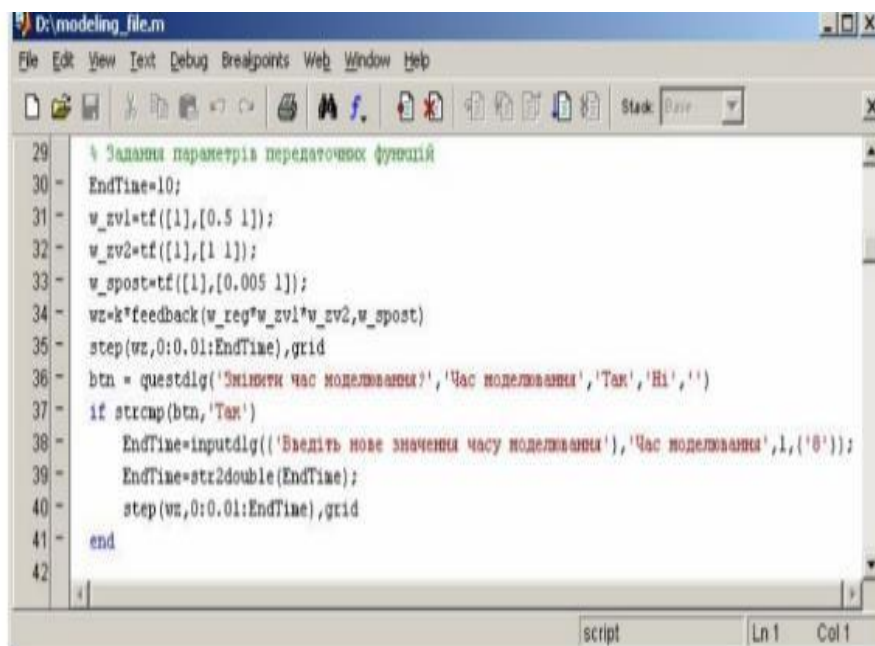


Рисунок 2.12 – Опис системи автоматичного керування зварюванням

Цей блок призначений для виконання розрахунку ключових характеристик, що виникають у перехідному процесі. Зокрема, проводиться обчислення часу регулювання процесу, а за потреби – значень перерегулювання, а також характеристик, що є допоміжними для реалізації регулювання зі зворотним зв'язком.

До допоміжних характеристик належать:

- час зростання перехідного процесу;
- час, протягом якого досягається перше максимальне значення перехідної характеристики;
- максимальне значення частотної характеристики в перехідному процесі;
- кількість коливань частотної характеристики;
- критичне значення коефіцієнта підсилення.

Фрагмент розрахунку характеристик системи автоматичного керування зображено на рис. 2.13.

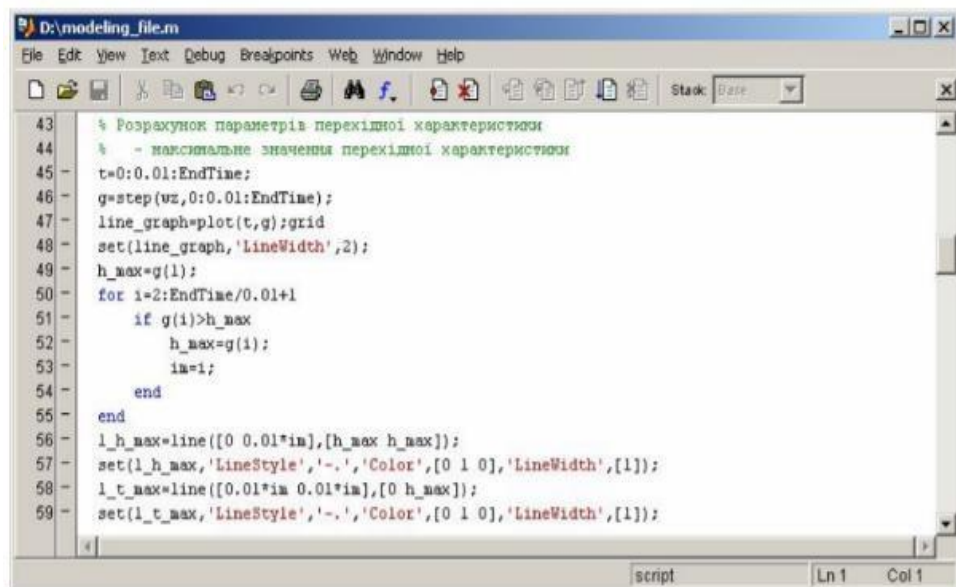


Рисунок 2.13 – Вікно розрахунку максимального значення перехідної частотної характеристики

Останній блок призначений для одержання параметрів перехідної характеристики для побудови на графіка.

Робочі вікна програми зображено на рис. 2.14-рис. 2.17.

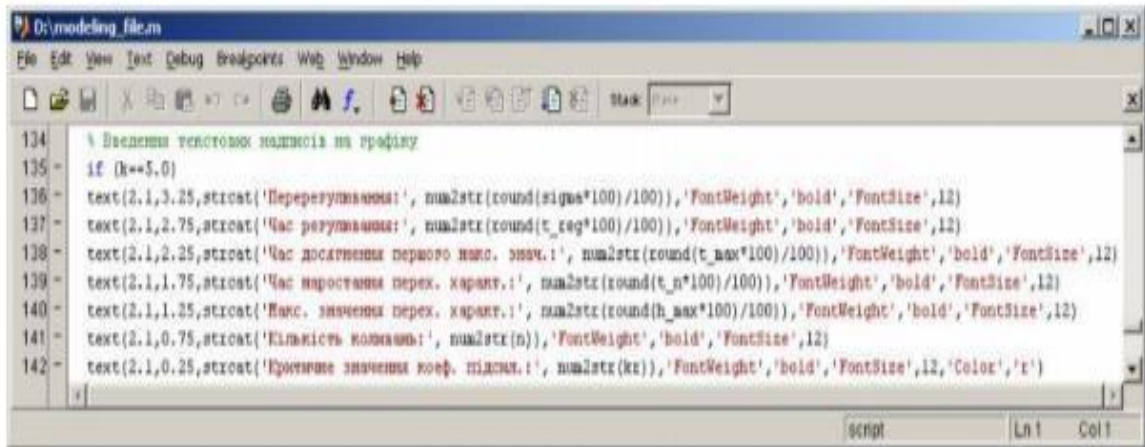


Рисунок 2.14 – Вікно задавання параметрів для побудови графіка перехідної характеристики

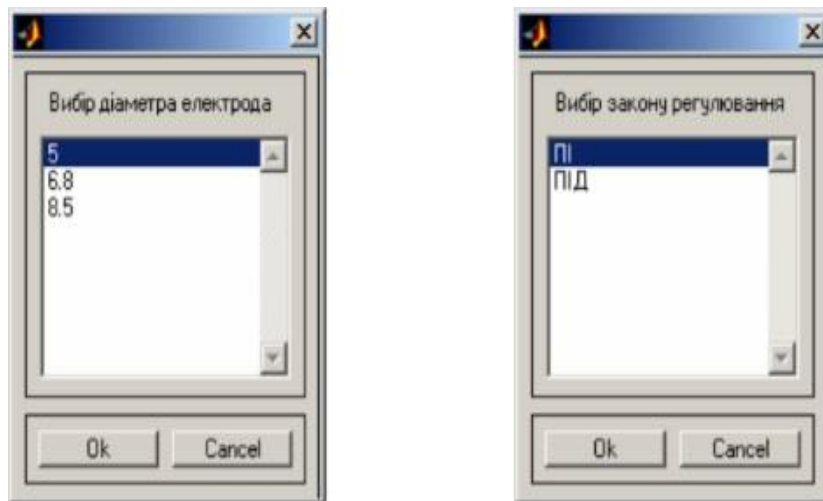


Рисунок 2.15 – Вибір діаметра електрода та основного закону регулювання процесом зварювання

У вікні розробленої програми можна змінювати необхідні параметри регулятора, встановлені за замовчуванням. Після цього виконується розрахунок перехідної характеристики системи автоматичного управління (САУ) та будується відповідний графік.

Таким чином, було розглянуто САУ для керування переміщенням електрода під час дугового зварювання, що дозволяє обґрунтувати параметри зварювального процесу та прогнозувати показники якості управління залежно від вимог, встановлених для процесу зварювання.

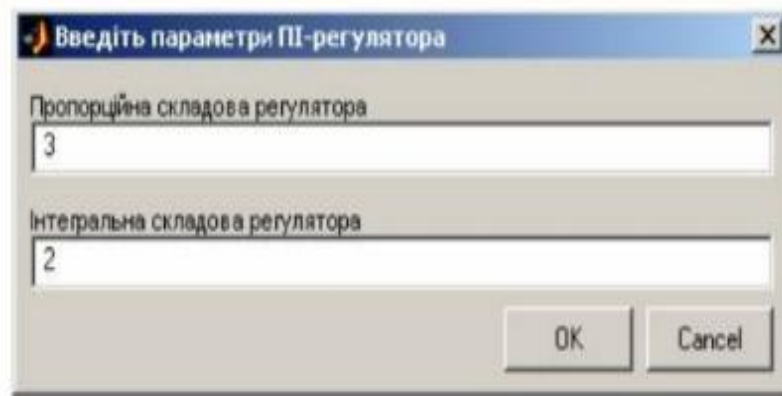


Рисунок 2.16 – Вибір основних параметрів регулятора

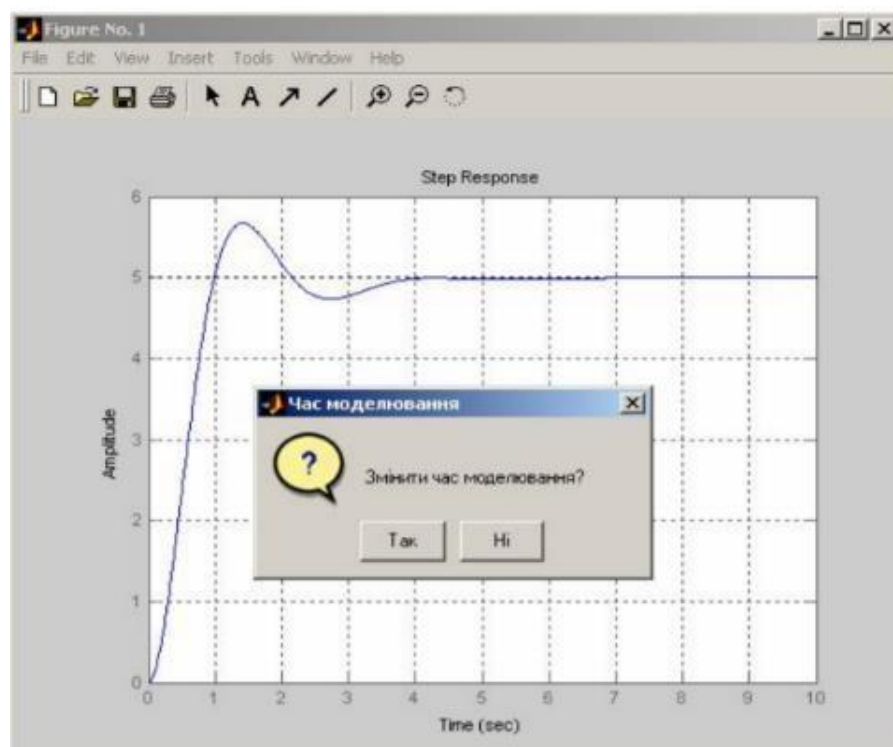


Рисунок 2.17 – Перехідна характеристика системи управління електродуговим зварюванням

2.3 Дослідження теплових характеристик процесу зварювання

На першому етапі виконується розрахунок розподілу температури вздовж осі шва та на певній відстані від неї.

Рівняння граничного стану процесу теплопереносу, віднесене до рухомої системи координат, має такий вигляд:

$$T(r, x) = \frac{q_{\text{еф}}}{2\pi\lambda\delta} e^{\left(-\frac{v_{\text{ЗВ}}^2}{2\alpha}\right)} K(U), \quad (2.1)$$

де $q_{\text{еф}}$ – ефективна теплова потужність дуги, Дж / сек;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Дж / см³ · °C;

δ – товщина зварювальних листів, см;

$V_{зв}$ – швидкість зварювання, см / сек;

r, x – координата досліджуваної точки, см;

a – коефіцієнт теплопровідності, см² / сек;

$K(U)$ – функція Бесселя;

$$q_{ef} = IU\eta, \quad (2.2)$$

де η – коефіцієнт корисної дії.

$$q_{ef} = 220 \cdot 22 \cdot 0,7 = 3080 \text{ Дж/сек}$$

Введемо позначення:

$$U = r \sqrt{\frac{V_{зв}^2}{4a} + \frac{b}{a}}, \quad (2.3)$$

де $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ – відстань до даної точки, см;

$$b = \frac{2\alpha}{c\rho\delta} \text{ – коефіцієнт тепловіддачі, 1 / сек.}$$

$$U = \sqrt{(-16)^2 + 0^2} \cdot \sqrt{\frac{0,1^2}{4 \cdot 0,07^2} + \frac{0,004}{0,07}} = 12$$

Якщо $U < 10$, то значення функції Бесселя можна взяти з таблиці, якщо $U > 10$, то значення функції Бесселя можна приблизно обчислити за формулою:

$$K_0(u) = e^{-u} \sqrt{\frac{\pi}{2u}} \left(1 - \frac{1}{8u} \right) \quad (2.4)$$

$$K_0(u) = e^{-12} \sqrt{\frac{3,14}{2 \cdot 12}} \left(1 - \frac{1}{8 \cdot 12} \right) = 0,000002$$

Для зручності обчислень розподілу температури уздовж осі ОХ використовуємо табличну форму запису.

Розраховані значення температур за заданих координатах точок наведено в табл. 2.1, 2.2, 2.3.

Таблиця 2.1 – Розрахункові значення температури заданих координат точок при $y_1 = 0$ см

x	r	$\frac{v_{cg}x}{2a}$	$e^{\frac{-vx}{2a}}$	u	$K_0(u)$	$T^{\circ}C$	$T+T_0$ $^{\circ}C$
-16	16	-11,4	89321,7	12	0,000002	442	462
-10	10	-7,1	1212	7,5	0,0002402	721	741
-6	6	-4,3	73,7	4,5	0,006400	1168	1188
-4	4	-2,9	18,2	3,0	0,03474	1566	1586
-3	3	-2,1	8,2	2,3	0,07914	1607	1627
-2	2	-1,4	4,1	1,5	0,2433	2476	2496
-1	1	-0,7	2,0	0,8	0,5653	2800	2820
0	0	0	1	0	∞	∞	∞
0,5	0,5	0,4	0,7	0,4	1,1145	1932	1952
1	1	0,7	0,5	0,8	0,5653	700	720
2	2	1,4	0,2	1,5	0,2438	121	141

Таблиця 2.2 – Розрахункові значення температур заданих координат

точок при $y_2 = 2$ см

x	r	$\frac{v_{cg}x}{2a}$	$e^{\frac{-vx}{2a}}$	u	$K_0(u)$	$T^{\circ}C$	$T+T_0$ $^{\circ}C$
-16	16,1	-11,4	89321,7	12,1	0,000002	442	462
-10	10,2	-7,1	1212	7,7	0,0002014	605	625
-6	6,3	-4,3	73,7	4,7	0,005132	937	957
-4	4,5	-2,9	18,2	3,4	0,02196	990	1010
-3	3,6	-2,1	8,2	2,7	0,04926	1001	1021
-2	2,8	-1,4	4,1	2,1	0,1008	1024	1044
-1	2,2	-0,7	2,0	1,7	0,1655	820	840
0	2	0	1	1,5	0,2138	530	550
0,5	2,1	0,4	0,7	1,6	0,1880	326	346
1	2,2	0,7	0,5	1,7	0,1655	205	225
2	2,8	1,4	0,2	2,1	0,1008	50	70

Таблиця 2.3 – Розрахункові значення температур заданих координат точок при $u_3 = 3$ см

X	r	$\frac{v_{ce} X}{2a}$	$e^{\frac{-vX}{2a}}$	u	$K_0(u)$	T°C	T+T ₀ °C
-16	16,3	-11,4	89321,7	12,3	0,000002	442	462
-10	10,4	-7,1	1212	7,8	0,0001811	544	564
-6	6,7	-4,3	73,7	5,0	0,003691	674	694
-4	5	-2,9	18,2	3,8	0,01397	630	650
-3	4,2	-2,1	8,2	3,2	0,02759	560	580
-2	3,6	-1,4	4,1	2,7	0,04926	500	520
-1	3,2	-0,7	2,0	2,4	0,07022	348	368
0	3,0	0	1	2,3	0,07914	196	216
0,5	3,0	0,4	0,7	2,3	0,07914	137	157
1	3,2	0,7	0,5	2,4	0,07022	87	108
2	3,6	1,4	0,2	2,7	0,04926	24	44

Розрахунок термічного циклу для точки з координатою X, Y.

Термічний цикл заданої точки можна розрахувати, приймаючи джерелотепла при $Z = 0$.

Розрахунок ведеться в табличній формі (див. табл.2.4).

Таблиця 2.4 – Розрахунковий термічний цикл точки з координатами 0, 2

t, c	5	10	20	30	60	90	120	180
$A = q_{эф} / 2\pi\lambda V$					14862			
A/t	2972,4	1486,2	743,1	495,4	247,7	165,1	123,9	82,6
$B = y_0^2 + z_0^2 / 4a$					14,3			
B/t	2,86	1,43	0,72	0,58	0,24	0,16	0,12	0,08
$e^{-B/t}$	0,06	0,24	0,49	0,62	0,79	0,85	0,89	0,92
T=A/t * $e^{-B/t}$	178	357	364	307	196	140	110	76

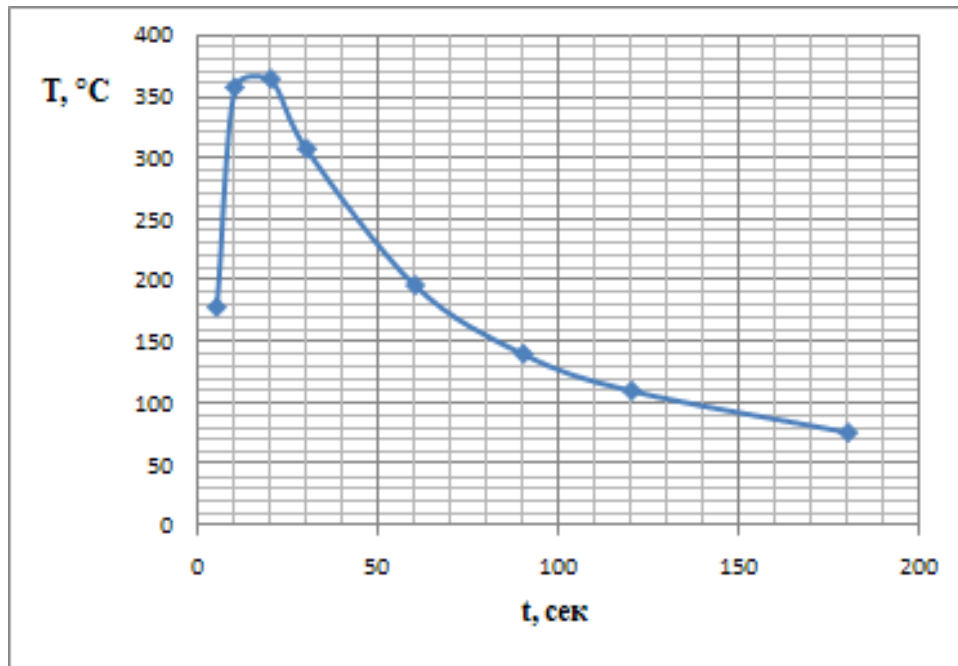


Рисунок 2.18 – Залежність зміни температури від часу зварювання (графік термічного циклу $T = f(t)$)

Розрахунок розподілу температур в період теплонасичення.

Розрахунок розподілу температур в періоді теплонасичення проводиться з урахуванням коефіцієнта теплонасичення і T_{np} , за формулою (2.1).

Розрахунок ведеться в табличній формі (див. Табл. 5).

Визначення температури точки в період теплонасичення обчислюють за формулою:

$$T_n = \psi_2 \cdot T_{np}, \quad (2.5)$$

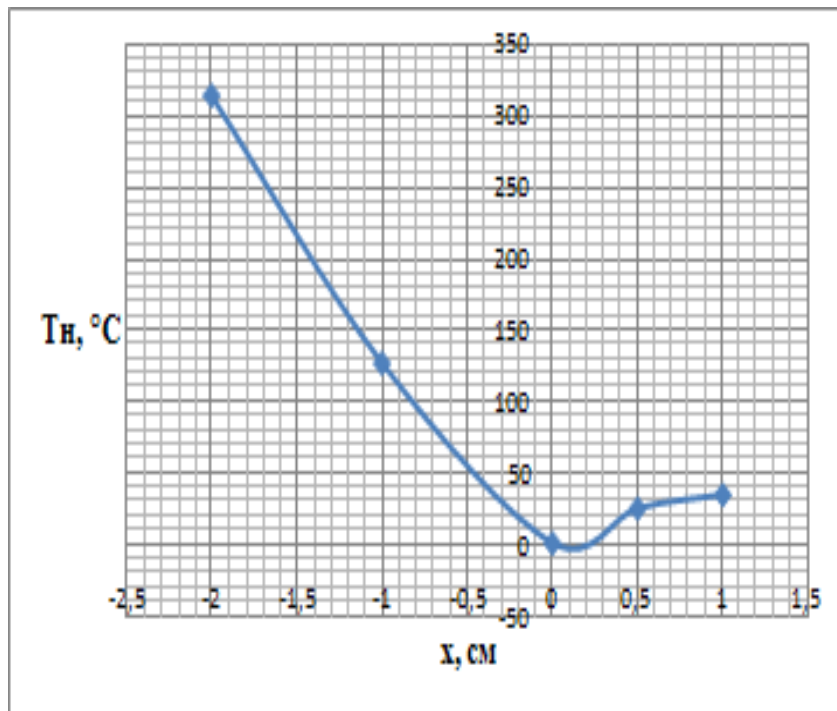
$$\rho_2 = Vr/2a, \tau_2 = V^2t/4a, \quad (2.6)$$

Коефіцієнт знаходиться по номограмі, де він представлений в залежності від безрозмірних критеріїв відстані і часу τ_2 .

У період теплонасичення температура будь-якої точки тіла зростає від початкової температури до температури граничного стану.

Таблиця 2.5 – Розподіл температури в період теплонасичення при $Z = 0$,Хвід 1 до -2, $Y = 2$.

x , см.	x_2	r	$T_{пр}$	$t=x/v_{св}$ в, сек.	τ_2	ρ_2	Ψ_2	T_H
1	1	2,2	225	10	0,36	1,57	0,15	33,75
0,5	0,25	2,1	346	5	0,18	1,5	0,07	24,22
0	0	2	550	0	0	1,43	0	0
-1	1	2,2	840	10	0,36	1,57	0,15	126
-2	4	2,8	1044	20	0,71	2	0,3	313,2

Рисунок 2.19 – Графік розподілу температур в період теплонасичення $T_H = F(x)$

Розрахунок розподілу максимальних температур в поперечному перерізі зварного з'єднання

Максимальні температури в точках, заданих координатою Y визначаються за формулою:

$$T_{max}(y) = \frac{0,242q_{эф}}{v_{св}c\rho\delta y}, \quad (2.7)$$

$$T_{max}(2) = \frac{0,242 \cdot 3080}{0,1 \cdot 4,7 \cdot 0,6 \cdot 2} = 1322^\circ\text{C}$$

Розрахунок миттєвої швидкості охолодження металу шва при заданій температурі

Відомо, що структура і властивості зварного з'єднання залежить від швидкості розпаду аустеніту, що визначається швидкістю охолодження металу.

Миттєву швидкість охолодження (при певній температурі $T=600\div 500\text{C}^{\circ}$)

Розраховують за методом Рикалін М.М. за формулою

$$W(T) = -2\pi\lambda_{\text{ср}} \frac{(T-T_0)^3}{(q_{\text{эф}}/\nu\delta^2)} \quad (2.8)$$

де T_0 – початкова температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$.

$$W(530) = -2 \cdot 3,14 \cdot 0,33 \cdot 4,7 \frac{(530 - 20)^3}{\left(\frac{3080}{0,1} \cdot 0,6\right)^2} = -0,49^{\circ}\text{C}/\text{сек}$$

Розрахунок розмірів зварювальної ванни.

Рухома зварювальний дуга на поверхні виробу утворює ванну розплавленого металу (зварювальну ванну) з параметрами L - довжина ванни; B - ширина; H - глибина ванни; $F_{\text{пр}}$ - площа проплавлення; V - об'єм ванни. Розміри ванни залежать від технологічних параметрів і теплофізичних характеристик металу і можуть бути оцінені приблизно.

Довжина ванни, см:

$$L = \frac{q_{\text{эф}}}{2\pi\lambda T_{\text{пл}}}, \quad (2.9)$$

$$L = \frac{3080}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,33 \cdot 1500} = 0,99 \text{ см}$$

Ширина ванни, см:

$$B = \frac{q_{\text{эф}}\sqrt{2/\pi e}}{\nu\text{ср}\delta T_{\text{пл}}}, \quad (2.10)$$

$$B = \frac{3080\sqrt{2/3,14 \cdot 2,7}}{0,1 \cdot 4,7 \cdot 0,6 \cdot 1500} = 3,57 \text{ см}$$

Глибина ванни, см:

$$H = 2 \sqrt{\frac{q_{\text{эф}}}{\pi e \text{ср} T_{\text{пл}} \nu_{\text{св}} \psi_{\text{пр}}}}, \quad (2.11)$$

де $\psi_{\text{пр}}$ – коефіцієнт форми провару

$$H = 2 \sqrt{\frac{3080}{3,14 \cdot 2,7 \cdot 4,7 \cdot 1500 \cdot 0,1 \cdot 5}} = 0,6 \text{ см}$$

Площа проплавлення, см^2 :

$$F_{\text{пр}} = \frac{q_{\text{эф}}}{\nu_{\text{св}} \text{ср} S_{\text{пл}}} \cdot \eta_t, \quad (2.12)$$

де $S_{\text{пл}}$ – тепловіддача металу, $\text{Дж} / \text{кг}$ (приймаємо $= 1,1 \text{ Дж} / \text{кг}$),

η_t – термічний КПД процесу (для пластини $\eta_t = 0,32\div 0,4$).

$$F_{\text{пр}} = \frac{3080}{0,1 \cdot 4,7 \cdot 1,1 \cdot 1000} \cdot 0,35 = 2,09 \text{ см}^2$$

Обсяг зварювальної ванни, см³:

$$V = \frac{q_{\text{эф}}^2}{8\pi\lambda c \rho v_{\text{св}} T_{\text{пл}}^2}, \quad (2.13)$$

$$V = \frac{3080^2}{8 \cdot 3,14 \cdot 0,33 \cdot 4,7 \cdot 0,1 \cdot 1500^2} = 1,08 \text{ см}^3$$

Теплові процеси при зварюванні є однією з найбільших проблем у сучасному зварювальному виробництві, оскільки якість зварних конструкцій безпосередньо залежить від нагрівання та охолодження зварюваного матеріалу.

Зварювальна металургія має свої особливості, які відрізняють її від інших металургійних процесів. Вона характеризується надзвичайно високими температурами під час термічного циклу та коротким часом перебування зварювальної ванни у рідкому стані, що є критичним для металургійної обробки металу зварного шва. Крім того, слід враховувати особливі процеси кристалізації зварювальної ванни, які починаються від межі сплаву, що призводить до утворення металу зі зміненими властивостями у зоні термічного впливу.

3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка організаційно-аналітичних рішень

3.1.1 Загальна характеристика електродугового зварювання

Зварюванням називають процес створення нероз'ємних з'єднань за допомогою формування міжатомних зв'язків між з'єднуваними частинами шляхом їх нагрівання або пластичної деформації. Це один із ключових технологічних процесів у машинобудуванні та будівництві. Основним видом зварювання є електродугове зварювання.

Вагомий внесок у розвиток дугового зварювання зробили вчені та інженери: В.В. Петров (1761-1834), М.М. Бенардос (1842-1905) і Н.Г. Славянов (1854-1897). У розробку теоретичних основ зварювання важливу роль відіграли такі вчені, як В.П. Вологдин, В.П. Нікітін, К.К. Хренов, Є.О. Патон, Г.А. Миколаїв, Н.О. Окерблом, М.М. Риколін, К.В. Любавський та Б.Є. Патон.

Автоматизація є невід'ємною складовою успішного проведення зварювальних процесів. Перші автоматичні регулятори дуги були запропоновані винахідниками дугового зварювання М.М. Бенардосом і Н.Г. Славяновим. Славянов стверджував, що для плавких електродів неможливо підтримувати стабільну дугу без автоматичного регулювання. Це доводить, що тільки автоматичне керування дугою може забезпечити ефективне промислове використання дугового зварювання з плавким електродом.

Електродугове зварювання є одним із найбільш широко застосовуваних методів у сучасній зварювальній технології. Під час зварювання кромки деталей, що з'єднуються, розплавляються під дією електричного дугового розряду (рис. 1.1).

Для здійснення зварювання необхідне джерело живлення з низькою напругою та високою потужністю. До одного полюса джерела підключається зварювана деталь, а до іншого — зварювальний електрод. Електрична дуга (рис. 1.1) є стійким електричним розрядом між двома електродами в іонізованій газовій середовищі.

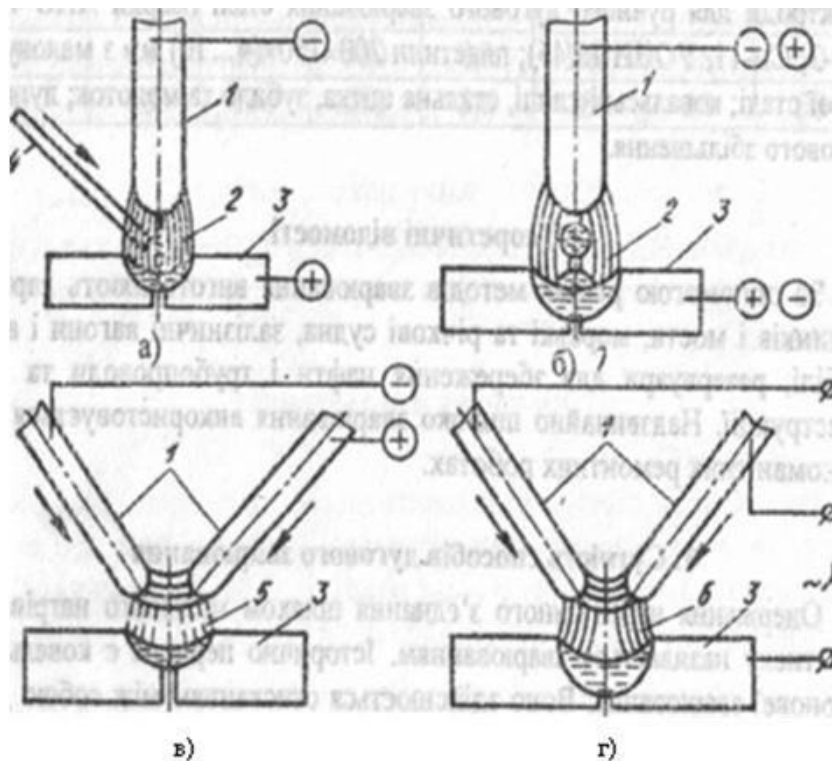


Рисунок 1.1 – Схеми електродугового зварювання:

1 – електрод; 2 – електрична дуга; 3 – деталь

Для утримання електрода під час ручного електродугового зварювання застосовують електродні тримачі, рис.1.2.

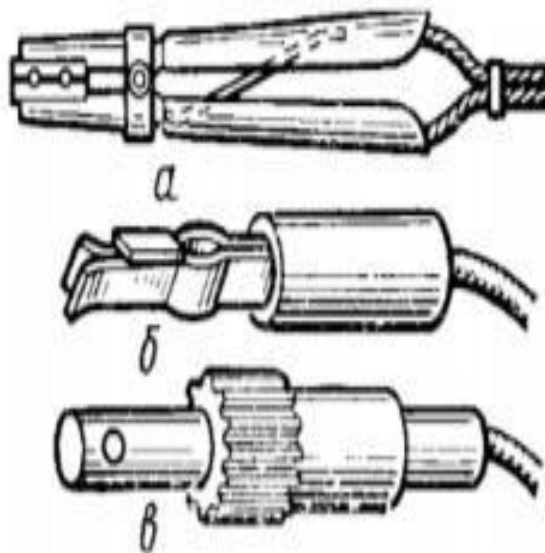


Рисунок 1.2 – Електротримачі для ручного дугового зварювання:

а – пружний; б – пластинчастий; в – гвинтовий

Дуга складається з анодної, катодної областей та стовпа. Основне призначення дугового розряду – перетворення електричної енергії на тепло.

Температура в осьовій частині газового стовпа досягає $6000-7500^{\circ}\text{C}$, що дозволяє плавити майже всі метали й сплави. На поверхнях анода й катода температура знижується до $3500-4000^{\circ}\text{C}$. Стовп дуги оточений полум'ям, яке формує ореол.

Через значну концентрацію тепла та високі температури при роботі з тонкими або легкоплавкими металами, а також чутливими до перегріву високолегкованими, нержавіючими сталями використовують електричну дугу зі зворотною полярністю. Тобто негативний полюс джерела струму підключають до виробу.

Внаслідок високих температур дуги виникають небезпечні фактори: інтенсивне випромінювання зварювальної дуги в оптичному діапазоні (ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне) та теплове (інфрачервоне) випромінювання зварюваних виробів і зварювальної ванни.

Інтенсивність та спектральний склад випромінювання залежать від потужності дуги, використаних матеріалів, захисних і плазмоутворюючих газів тощо. Без належного захисту можливі ураження очей (електроофтальмія, катаракта) та шкіри (еритеми, опіки). Теплове інфрачервоне випромінювання залежить від температури попереднього підігріву, розмірів та конструкцій виробів, а також температури і розміру зварювальної ванни. Без засобів індивідуального захисту тепло може порушити терморегуляцію організму, викликавши тепловий удар. Контакт із розігрітим металом призводить до опіків.

Електрична дуга утворюється в результаті сильного нагрівання кінця електрода (катода), який, під дією електричного поля, починає випускати вільні електрони (електронна емісія). В дуговому проміжку формуються заряджені частинки – іони. Позитивні іони – це атоми, які втратили електрони, а негативні – частинки, що їх захопили. Головну роль в освітленні дуги відіграють позитивні іони.

Процес утворення іонів називають іонізацією. Газ в дуговому проміжку, що містить іони, стає іонізованим, а дугового проміжок – електропровідним.

Схема процесу електродугового зварювання (способи запалення зварювальної дуги, положення електроду під час зварювання та закінчення

зварювання) наведено на рис. 1.3, рис. 1.4, рис. 1.5.

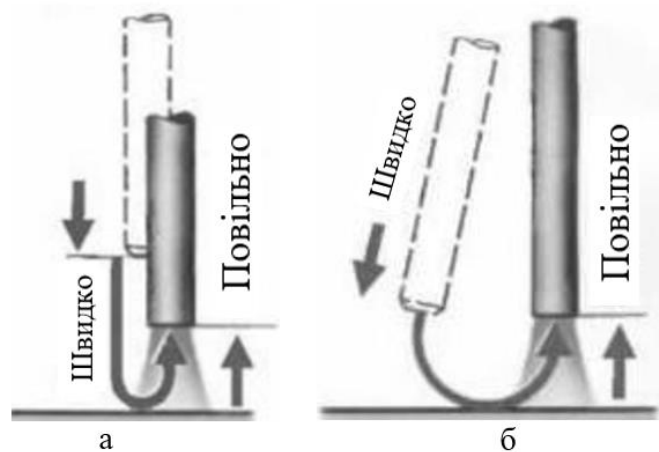


Рисунок 1.3 – Способи запалювання дуги: а – дотиком; б – чирканням

Дугу запалюють коротким дотиком електрода до виробу (впритиск) або чирканням кінця електрода по поверхні металу («сірником»). Спосіб «сірником» має певні переваги, але він незручний у вузьких важкодоступних місцях зварювання.

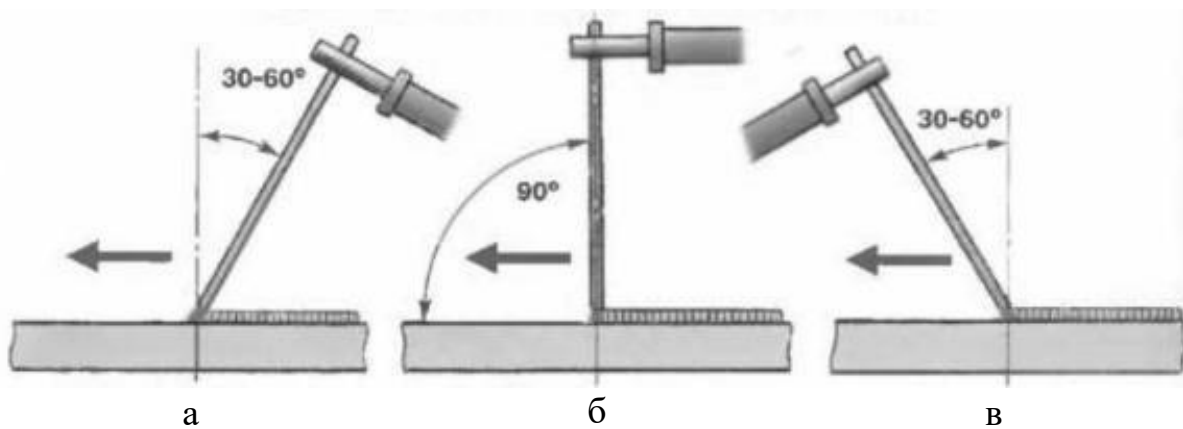


Рисунок 1.4 – Способи положення електрода під час зварювання: а – кутом вперед; б – під прямим кутом; в – кутом назад

Положенням електрода «кутом вперед» виконують горизонтальні, вертикальні та поточні шви та зварювання неповоротних стикових труб. Зварювання в важкодоступних місцях проводять положенням електрода «під прямими кутом». Положенням електрода «кутом назад» виконують кутові та стикові зварювальні з'єднання.

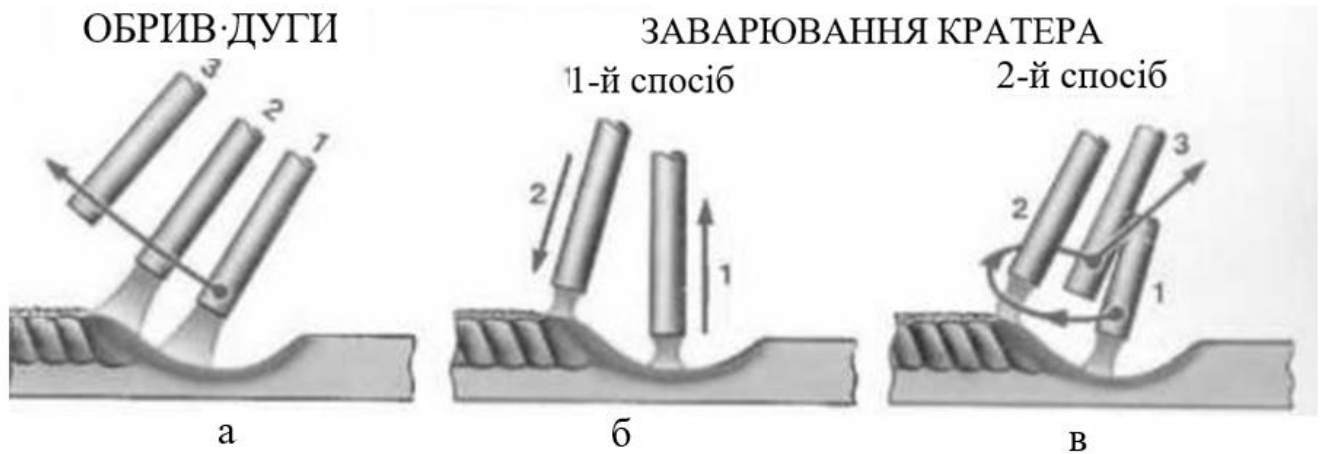


Рисунок 1.5 – Способи закінчення зварювання, або переривання дуги:

а – переривання дуги; б – заварювання кратера

Наприкінці шва дугу не можна відривати відразу. Спершу електрод переміщують на верхній край зварювальної ванни (позиції 1-2, рис. 1.5а), а потім швидко відводять (позиція 3) від кратера. Заварювання кратера здійснюють двома способами: у першому варіанті дугу гасять в кінці зварного шва (позиція 1, рис. 1.5б), після чого повторно запалюють (позиція 2) для формування потрібної висоти шва; у другому випадку, починаючи з позиції 1 (рис. 1.5в), без обриву дуги, електрод зміщують на 10-15 см у позицію 2, а потім у позицію 3, після чого дугу вимикають.

Довжина дуги: Під час горіння дуги на поверхні зварюваного виробу утворюється розплавлений металевий резервуар (зварювальна ванна) з поглибленням – кратером. Відстань від кінця електрода до поверхні зварювальної ванни визначається як довжина дуги.

При ручному дуговому зварюванні металевим електродом довжина дуги зазвичай становить 2-6 мм. Як правило, нормальною вважають дугу, довжина якої дорівнює діаметру електрода. Довгою називають дугу, яка перевищує 1-1,5 діаметра електрода.

Зварювання зазвичай проводять короткою дугою, оскільки під час роботи з довгою дугою виникає інтенсивне розбризкування та окислення крапель розплавленого металу. Це призводить до утворення пор у шві та поганого з'єднання наплавленого і основного металів. Також іскри, бризки та викиди розплавленого металу і шлаку можуть викликати опіки.

При зварюванні вугільним електродом довжина дуги може сягати 15-20 мм. Напруга дугового розряду прямо пропорційна довжині дуги: чим довша дуга, тим вища напруга. Точна форма цієї залежності визначається умовами розряду, наприклад, наявністю або відсутністю захисної газової атмосфери, властивостями покритого електрода, наявністю та характеристиками флюсу тощо.

Температура дуги залежить від сили струму на одиницю площі поперечного перерізу електрода та щільності струму. Чим більша щільність струму, тим вища температура дуги.

При ручному дуговому зварюванні плавким електродом щільність струму зазвичай становить від 10 до 20 А/мм², а напруга – 18-20 В. Цим методом можна зварювати та наплавляти вуглецеві та леговані сталі всіх марок, чавун, кольорові метали, а також наплавляти тверді сплави на метал товщиною від 1 мм.

У ремонтній практиці для зварювальних робіт використовують як змінний, так і постійний струм. Дуга на змінному струмі малої щільності горить нестабільно, тому для стабільності її роботи збільшують щільність струму. Це підвищує ризик пропалювання тонких деталей, але через простоту джерел живлення зварювання на змінному струмі є популярним.

На постійному струмі дуга горить стабільніше, що дозволяє використовувати менші струми і зварювати тонкі деталі. Крім того, це дає можливість змінювати полярність.

Різні види швів та способи зварювання деталей наведено на рис. 1.6.

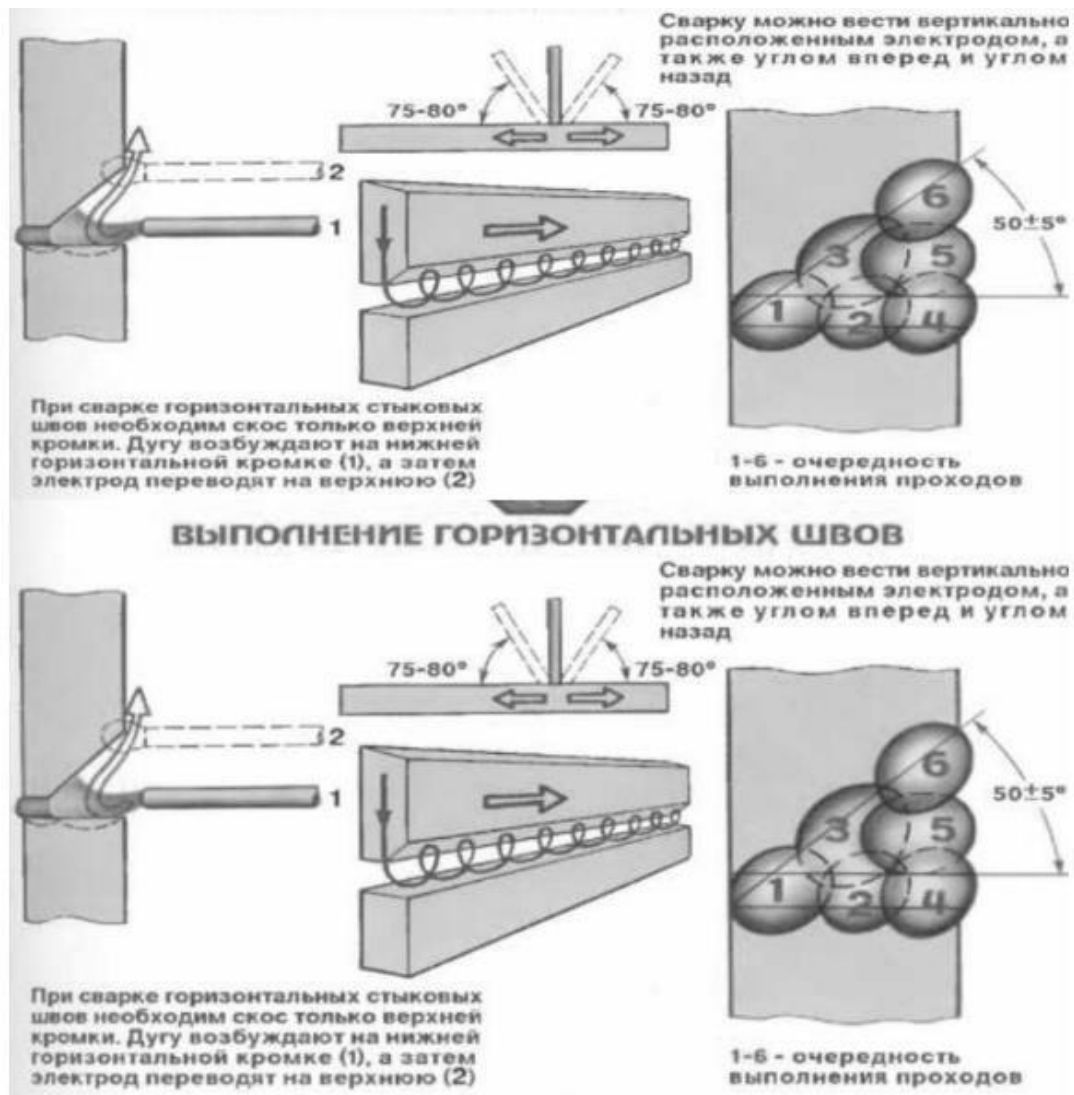


Рисунок 1.6 – Схема виконання горизонтальних швів

Випускаються джерела живлення (рис. 1.7) електричної зварювальної дуги поділяють за такими ознаками:

- 1) у зв'язку зі струмом: на джерела постійного струму (перетворювачі, агрегати й випрямлячі) і змінного струму (зварювальні трансформатори);
- 2) за кількістю зварювальних постів, які підключаються одночасно: на однопостові і багатопостові;
- 3) за призначенням: на джерела для ручного зварювання покритими електродами; для автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом; для зварювання в захисних газах; для електрошлакового зварювання; для плазмового різання і джерела струму спеціального призначення (зварювання трифазної дугою, багатодугового зварювання та ін.);

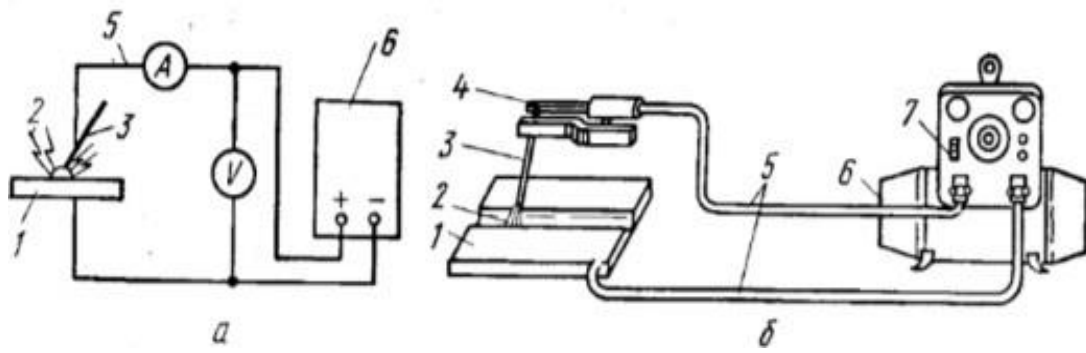


Рисунок 1.7 – Схема живлення дуги при ручному дуговому зварюванні з постійним струмом: а – електрична схема; б – загальна схема компонування зварювального поста: 1 – деталь; 2 – дуга; 3 – електрод; 4 – тримач електрода; 5 – струмопровідні проводи; 6 – джерело струму; 7 – пристрій управління зварюванням

4) за принципом дії і конструктивним виконанням:

- на зварювальні трансформатори: з нормальним магнітним розсіюванням і окремим дроселем (реактивної котушкою) на окремому або загальному сердечнику;
- з штучно збільшений магнітним розсіюванням: з рухомим магнітним шунтом і рухливими обмотками;
- перетворювачі: з незалежною обмоткою, яка намагнічується та послідовної обмотки, яка розмагнічується;
- з намагнічуючою паралельною та розмагнічуючою послідовною обмотками;
- з розщепленими полюсами;
- з жорсткою характеристикою; універсальні;
- агрегати – генератори з двигунами внутрішнього згоряння;
- зварювальні випрямлячі: з селеновими і кремнієвими вентилями;
- багатопостові; однопостові;
- з падаючими характеристиками;
- з жорсткими характеристиками;
- універсальні;

5) за характером приводу: на джерела з електричним і незалежним приводом (від двигуна внутрішнього згоряння);

б) за способом установки і монтажу - на стаціонарний і пересувні.

При використанні електроприладів і різних джерел живлення завжди є ймовірність ураження електричним струмом. Небезпека ураження виникає при зіткненні з струмоведучими частинами електричних установок і при зіткненні з металевими частинами, випадково опинилися під напругою.

У цьому випадку через тіло людини проходить електричний струм, сила якого залежить від напруги і електричного опору організму. Опір організму змінюється залежно від фізичного стану людини (втома, розслабленість тощо). Напруга, під якою може опинитися людина, визначається величиною напруги холостого ходу джерела живлення зварювальної дуги.

Електродугове зварювання є найпоширенішим способом з'єднання різних металів завдяки своїй універсальності. Його використовують як у промисловості, так і в побуті. Цей процес має багато переваг: він простий у виконанні, не потребує дорогого обладнання, і навіть новачки можуть навчитися виконувати зварювальні роботи. Однак перед початком роботи рекомендується ознайомитися з основними принципами зварювання.

Одним з ключових принципів технології зварювання є коротке замикання та пробій. Особливо важливо звернути увагу на пробій, який стосується діелектриків, коли міжатомний простір заповнюється зарядженими частинками. Іони створюють позитивні заряди, а електрони – негативні.

У деяких випадках пробій можливий для будь-яких діелектриків. Під час зварювання металів виникає пробій повітряного проміжку між електродами і зварюваною масою. На електроді під час зварювання виникає струм із низьким показником напруги, але дуже високою силою струму – від 80 до 200 А. Крім того, спостерігається велика щільність струму, що досягає кількох тисяч А/м².

У момент торкання електрода маси, а саме іншого матеріалу з високими показниками електропровідності при зварюванні металевих конструкцій, то може виникнути коротке замикання, яке створює електричне поле з високою потужністю. Саме в ньому виникає пробій.

3.1.2 Види та способи електродугового зварювання

Електродугове зварювання має кілька різновидів, кожен з яких має свої відмінні особливості, що впливають на якість і тип зварного з'єднання. Виділяють такі основні види електродугового зварювання:

1. Ручне електродугове зварювання – цей метод передбачає використання лише фізичної сили людини, без застосування механізмів.
2. Механізоване зварювання – під час цього процесу використовується механізація для подачі зварювального дроту в зону зварювання, але частина роботи виконується вручну.
3. Автоматичне зварювання – зварювання здійснюється повністю автоматизовано. Спеціальне обладнання самостійно підтримує дугу, регулює її довжину та переміщує зварювальний інструмент.

Способи електродугового зварювання:

1. Зварювання пучком – при цьому методі використовується кілька електродів, об'єднаних у пучок. Електроди зварюють по торцях і встановлюють в утримувач. Це дозволяє застосовувати широкий діапазон струмів і підвищувати продуктивність.
2. Зварювання прилеглим електродом – під час цього процесу електрод укладають у підготовлений стик або кут, при цьому довжина може бути від 50 до 120 см. На нього встановлюється мідний брус із поздовжньою канавкою. Після приєднання електрода та заготовки до джерела струму, вугільний стрижень запалює дугу, яка проходить під брусок, плавлячи робочий матеріал і зварюючи кромки.

Таким чином, різні види та способи електродугового зварювання дозволяють підібрати найбільш оптимальний метод для з'єднання металевих елементів залежно від вимог до зварного шва і умов виконання робіт.

Зварювання з похилим електродом. Цей метод застосовують для підвищення ефективності. Електрод фіксується в тримачі з обоймою, яка під власною вагою опускається по стійці. Під час запалювання дуги, електрод плавиться, а обойма поступово спускається вниз. Зазвичай для зварювання використовують простий трансформаторний зварювальний апарат. Він працює за принципом трансформатора, знижуючи напругу і збільшуючи струм, і забезпечує зварювання змінним струмом.

Проте трансформаторне обладнання має значні розміри та не дуже зручне в роботі.

Це ускладнює його переміщення, тому для транспортування необхідно використовувати спеціальні візки. Якщо потрібен мобільний апарат, інвертор стане чудовим вибором. Це обладнання перетворює змінний струм побутової мережі на високочастотний, а потім – на постійний струм. Окрім цього, інвертори мають невелику вагу і компактні розміри. Інверторне зварювальне обладнання забезпечує високу стабільність дуги, що позитивно впливає на якість зварного шва.

Також воно дозволяє працювати в різних режимах:

- Пряма полярність;
- Зворотна полярність.

Різні методи зварювання використовуються досить широко. У разі, якщо газ не застосовується, для покращення якості шва використовують флюсовий дріт. Під час плавлення він вивільняє склад, подібний до обмазки звичайних електродів, і формує газову хмару, яка захищає метал від окислення.

Особливу роль відіграє зварювання за допомогою напівавтомата (рис. 1.8). Напівавтоматичне зварювання деталей може виконуватися як із використанням захисного газу, так і без нього. Перевагою цього методу є відсутність необхідності купувати балони з газом. Характерною особливістю даного процесу є використання зворотної полярності струму. У цьому випадку «+» підключається до держака, а негативний полюс – до поверхні металу.

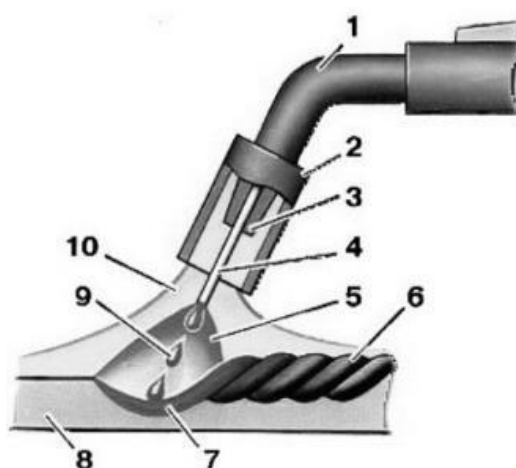


Рисунок 1.8 – Схема електродугового напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів: 1 – горілка; 2 – сопло; 3 – струмопровідний наконечник; 4 – електродна проволока; 5 – зварна дуга; 6 – зварний шов; 7 – зварна ванна; 8 – основний метал; 9 – краплі електродного металу; 10 – газовий захист

У зварювальній справі часто використовують напівавтоматичне зварювання в середовищі захисного газу, що забезпечує високу якість зварного шва. Окрім цього, зварювальник має можливість візуально контролювати процес. Сучасний зварювальний напівавтомат складається з пальника, механізму для подачі зварювального дроту, редуктора та шланга. Перед початком роботи необхідно очистити робочу поверхню на відстані до 30 см від країв зазору. Обов'язковим етапом є організація заземлення. Після цього слід перевірити напругу в електромережі.

На наступному етапі налаштовується режим роботи, що залежить від типу та товщини металу. Особливу увагу слід приділити регулюванню наконечника пальника. Якщо при ручному дуговому зварюванні використовують електроди, то при напівавтоматичному зварюванні застосовується спеціальний зварювальний дріт. Важливо, щоб дріт був цільним, без вм'ятин і відшарувань. Технологія з'єднання деталей практично не відрізняється від ручного методу. Напівавтоматичне зварювання з використанням аргону як захисного газу є незамінним для роботи з алюмінієм та деякими кольоровими металами, при цьому використовується пряма полярність.

Для зварювання низьколегованих та низьковуглецевих сталей у середовищі захисних газів застосовують вуглекислий газ, а також суміші вуглекислого газу з аргоном і киснем. Як зварювальні дроти використовуються марки Св-08ГС, Св-08Г2С та інші.

3.1.3 Аналіз зварювання різних металів електродуговим способом

Зварювання чавунних деталей є досить складним процесом, що обумовлюється хімічним складом, структурою та механічними властивостями чавуну. Чавун – це сплав заліза з вуглецем (2...3,6 %), що також містить кремній, марганець, фосфор, сірку та інші домішки.

Існує багато методів зварювання чавуну, проте вибір конкретного способу для відновлення певної деталі є складним завданням. Навіть у межах однієї деталі з різною товщиною стінок можуть бути різні структури чавуну, що потребуватимуть використання різних методів зварювання.

Основні методи зварювання чавунних деталей поділяються на два типи:

Гаряче зварювання – перед початком процесу деталь підігрівають, а після зварювання повільно охолоджують.

Холодне зварювання – проводиться без попереднього підігріву деталі, використовуються різні способи зварювання та спеціальні електроди. Зварювання кольорових металів і сплавів, зокрема алюмінієвих, широко застосовується при ремонті, оскільки багато деталей сучасних тракторів і автомобілів виготовляються з цих матеріалів.

Мідь, бронза і латунь погано зварюються за допомогою звичайного дугового зварювання через їхні фізичні та хімічні властивості. У розплавленому стані мідь та її сплави мають високу текучість, добре розчиняють гази, особливо кисень, і легко окислюються. Ці матеріали також характеризуються великим коефіцієнтом лінійного розширення та значними структурними змінами в зоні зварювання.

Мідь та її сплави зварюються задовільно електродами марок «Комсомолец-100», МН-5 і ОЗБ-1, а також вугільним електродом на постійному струмі прямої полярності. Аргонно-дугове зварювання вольфрамовим електродом забезпечує добрий результат. Присадним матеріалом для зварювання слугують прутки, хімічний склад яких максимально наближений до складу зварюваного металу. Під час зварювання вугільним електродом використовують буру, прокалену до 500...550°C, як флюс. Наплавлений шов проковують при температурі до 500°C для поліпшення його механічних властивостей.

При зварюванні латуні та інших мідно-цинкових сплавів застосовують прутки з підвищеним вмістом цинку. Оскільки під час процесу виділяються отруйні пари цинку, необхідно забезпечити хорошу вентиляцію робочого місця та використовувати респіратори.

Алюміній і його сплави легко окислюються на повітрі, утворюючи щільну плівку оксиду алюмінію (Al_2O_3), температура плавлення якої становить 2050°C, тоді як температура плавлення чистого алюмінію – 660°C. Ця тугоплавка і міцна плівка оксиду алюмінію є основною перешкодою під час зварювання алюмінію. Крім того, алюміній і його сплави не змінюють кольору при нагріванні, що ускладнює контроль температури, а їх висока текучість у розплавленому стані робить процес зварювання ще більш складним.

При зварюванні чистого алюмінію та його сплавів в якості електродів або присадкового матеріалу використовують прутки чи дріт, склад яких максимально наближений до зварюваного металу. Для покриття електродів або як флюс застосовують хлористі й фтористі солі літію та калію, які активно розчиняють і видаляють оксид алюмінію. Зварювання здійснюється на постійному струмі зворотної полярності, що сприяє ефективному руйнуванню оксидної плівки через катодне розпилення. Для електродів діаметром 4–6 мм використовують струм у межах 120–150 А.

Після зварювання шлак необхідно видалити, щоб запобігти корозії металу. Це роблять шляхом промивання шва гарячою або підкисленою водою та ретельного очищення сталевими щітками. Перед початком зварювання поверхню деталей обов'язково знежирюють бензином або ацетоном та очищають механічно або вручну (наприклад, сталевую щіткою).

Для зварювання чистого алюмінію використовують електроди ОЗА-1, а для алюмінієво-кремнієвих сплавів, таких як силумін, застосовують електроди ОЗА-2. Щоб уникнути жолоблення, появи тріщин і покращити якість зварювання, деталі з алюмінію та його сплавів перед процесом підігрівають до температури 200–350°C (для великих деталей – до вищої температури). Температуру підігріву контролюють за допомогою термопар або спеціальних олівців.

Перед зварюванням кінці тріщин засвердлюють, а крайки обробляють під кутом 60–90 градусів. Щоб розплавлений метал не розтікався, використовують сталеві або глиняні підкладки. Після зварювання деталь повільно охолоджують, щоб отримати дрібнозернисту структуру шва, а також проводять проковування шва для поліпшення його механічних властивостей. Внутрішню напругу знімають шляхом нагрівання до 300–350°C з подальшим повільним охолодженням.

Аргонно-дугове зварювання вольфрамовим електродом дозволяє отримати високоякісні результати під час зварювання алюмінію та його сплавів без необхідності застосування флюсу. Однак, при цьому важливо ще ретельніше видаляти оксидну плівку та забруднення з поверхні деталей перед початком зварювання, ніж це роблять при використанні флюсу. Це забезпечує кращий контакт і запобігає утворенню дефектів у шві.



Рисунок 1.9 – Фактори які впливають на якість зварних з'єднань

Розглянемо деякі особливості чавуну, які потрібно враховувати при його зварюванні. Однією з ключових характеристик є висока теплопровідність, через яку вироби з чавуну швидко охолоджуються. Це може призвести до утворення так званого відбілювання матеріалу, коли на поверхні деталі формується шар крихкого білого металу. Цей білий шар не піддається механічній обробці, що значно ускладнює подальше використання деталі. Тому при зварюванні чавуну необхідно вживати спеціальних заходів для запобігання цьому явищу.

Чавун відрізняється мінімальною пластичністю, тому при перенапруженні цього матеріалу в ході зварювання можливе утворення тріщин. Чавун містить великий відсоток вуглецю, який в процесі сплаву вигорає (перетворюється в окис CO). Результатом такого механізму може бути формування пір.



Рисунок 1.10 – Типи дефектів

За технологією зварювання чавуну потрібно, щоб поверхня матеріалу була чистою і гладкою. Це умова необхідна для забезпечення належної якості виробу і запобігання появи тріщини. Розрізняють два варіанти зварювання чавуну:

- гаряче зварювання (з підігрівом);
- холодне зварювання (без підігріву).

У свою чергу, сплавлення з попередніми прогріванням розділяється на напівгаряче та гаряче.

Технологія зварювання чавуну з підігрівом застосовується у важкому машинобудуванні. Це більш складна процедура, що вимагає наявності спеціальних пристосувань для підвищення температури деталей.

Показники якості зварних з'єднань характеризуються такими властивостями: міцністю, надійністю, відсутністю дефектів, структурою металу шва і біля шовної зони, корозійною стійкістю, кількістю і характером виправлень (рис. 1.8).

Всеохоплюючу класифікацію зварних дефектів виконують за їх типами, що пов'язані з геометричними ознаками і масовістю (рис. 1.10).

3.2 Розробка конструкторських рішень

3.2.1 Вибір обладнання та пристосувань

Для виконання зварювальних робіт використовується автоматичне дугове зварювання. Автоматизація і механізація цього процесу є ключовими напрямками сучасного розвитку зварювальної техніки, оскільки вони сприяють підвищенню ефективності та якості виробництва.

Дугове зварювання є досить трудомістким процесом і вимагає високої кваліфікації працівників. При ручному зварюванні важко досягти однорідності продукції, і це знижує допустимі рівні напруження у зварних швах. Тому автоматизація процесу є важливим кроком вперед, оскільки вона дозволяє значно підвищити продуктивність і точність виконання зварювальних робіт.

Автоматизація дугового зварювання належить до прогресивних технологічних процесів металообробки, оскільки дозволяє автоматизувати більшість основних операцій. Існують різні види автоматизованого зварювання, зокрема автомати та напіваавтомати, що відрізняються ступенем механізації.

Для реалізації процесу автоматичного дугового зварювання потрібен комплекс машин, механізмів і пристроїв, які складають автоматизовану установку. Основним елементом є автоматична головка для дугового зварювання, яка забезпечує запалювання дуги, подачу електродів під час їх плавлення та стабільність горіння дуги.

Сьогодні широке поширення отримали автомати для зварювання плавким металевим електродом (рис. 3.5). У ручному зварюванні використовуються короткі електроди, а при автоматичному — електродний дріт великої довжини, який подається в зону дуги з мотків або бухт за допомогою механізму автомата, що змотує дріт у міру його плавлення.

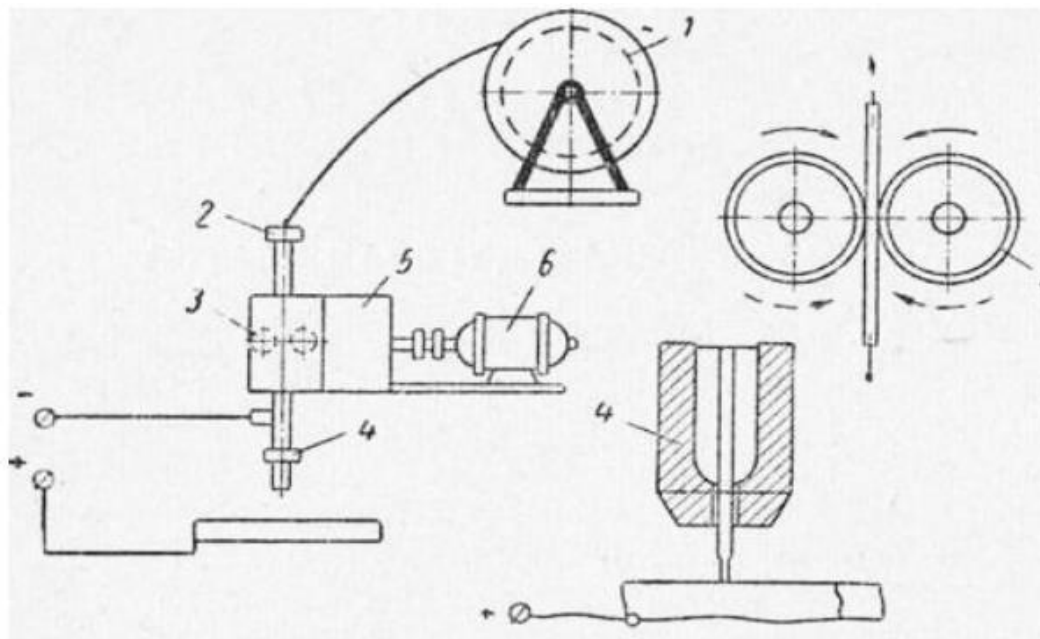


Рисунок 3.5 – Схема автомата для дугового зварювання металевим електродом:

- 1 - барабан з бухтою електродного дроту; 2 - приймальня трубка для дроту; 3 - подаючі ролики; 4 - мундштук; 5 - коробка передач; 6 - приводний електродвигун

Через передавальний і провідні ролики дріт подається в зону зварювання за допомогою приводного механізму, який приводиться в дію електродвигуном автомата. Після проходження через провідні ролики дріт потрапляє в мундштук автомата, де контактує з струмопровідними елементами, що передають зварювальний струм до дуги. Завдяки невеликій відстані від контактів до дуги, автомат працює як пристрій із безперервною подачею електрода.

Однією з важливих переваг автоматичного зварювання є зменшене нагрівання дроту за рахунок джоулевого тепла, що дозволяє використовувати високу щільність струму без перегрівання дроту. Автоматична подача дроту, що відбувається відповідно до швидкості його плавлення, підтримує стабільну довжину дуги під час процесу зварювання.

Процес регулювання в автоматі може здійснюватися кількома способами. Одним із них є синхронізація швидкості подачі дроту з напругою та довжиною дуги. Якщо довжина дуги та напруга залишаються стабільними, швидкість подачі дроту дорівнює швидкості його плавлення. У разі зменшення довжини дуги подача дроту також зменшується, а при короткому замиканні, коли напруга дуги падає до нуля, напрямок подачі дроту змінюється.

У такій ситуації електрод припиняє рух вперед і "відскакує" від основного металу, віддаляючись від нього. Коли автомат вмикається, електрод ще не торкається виробу, і дуга відсутня. Напруга між електродами і виробом відповідає напрузі холостого ходу джерела струму. Потім, коли напруга перевищує нормальну напругу дуги, електрод подається вперед до виробу. В момент торкання електрода до металу відбувається реверсування подачі, що дозволяє запалити дугу.

Після запалювання дуги електрод продовжує подаватися вперед, а довжина дуги автоматично підтримується з високою точністю. Ця функція є недоступною для ручного зварювання, що робить автоматичне зварювання більш стабільним і ефективним.

Отже, дуговий автомат можна розглядати як автоматичний регулятор, який забезпечує стабільність режиму дугового зварювання, мінімізуючи вплив зовнішніх або випадкових збурень. Залежно від принципу регулювання, розрізняють два основних види дугових автоматів:

1. Автомати з регулюванням електричних величин.

2. Автомати з постійною швидкістю подачі електрода.

Під час зварювального процесу важливо підтримувати стабільність напруги дуги. Для цього необхідне використання автомата, здатного забезпечити постійну довжину дуги, що гарантуватиме належний перебіг процесу зварювання. Регулювання напруги дуги безпосередньо пов'язане з регулюванням її довжини: чим стабільніша довжина дуги, тим стабільніша її напруга.

Відповідно до викладеного, процес формування зварного з'єднання є об'єктом автоматичного керування. У більшості випадків його можна представити як систему з трьох елементів: «джерело живлення – джерело нагрівання – виріб» (рис. 3.6). Ця система демонструє послідовність перетворення енергії під час зварювального процесу, де кожен елемент відіграє важливу роль у забезпеченні якісного з'єднання.

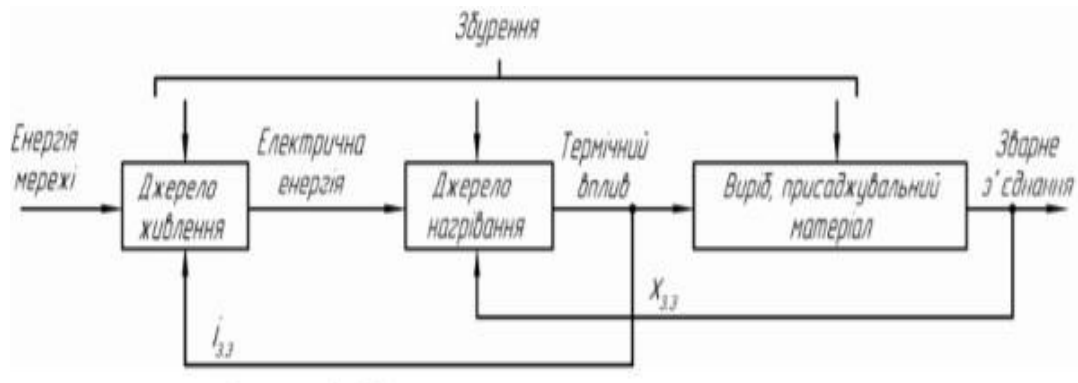


Рисунок 3.6 – Узагальнена схема зварювального процесу

Детальна схема зварювального процесу, а саме технологічного дугового зварювання, наведена на рис. 3.7. Представлена схема враховує основні взаємозв'язки, які характерні для дугового зварювання. Внутрішній замкнений контур I, який включає в себе джерело живлення, плавкий електрод і дугу, детальна схема технологічного процесу дугового зварювання, наведена на рис. 3.7, відображає основні взаємозв'язки, які характерні для цього виду зварювання. Вона складається з двох замкнених контурів, що контролюють різні аспекти процесу.

Контур I охоплює такі елементи, як джерело живлення, плавкий електрод і дугу. Цей контур сприяє автоматичному самовирівнюванню енергетичних параметрів дуги за допомогою процесу саморегулювання плавлення електрода. Завдяки цьому досягається стабільність дугового зварювання, оскільки електрод автоматично плавиться в міру підтримання постійної довжини дуги.

Контур II включає зварний шов, електрод і дугу. Він відображає вплив прогинання вільної поверхні зварювальної ванни та глибини провару на довжину дуги. Таким чином, довжина дуги залежить від зміни форми шва та глибини провару, що безпосередньо впливає на якість і характеристики кінцевого зварного з'єднання.

Результатом роботи системи є зварний шов, який характеризується такими геометричними параметрами:

- Глибина провару (h) — це показник того, наскільки глибоко метал проварений.
- Ширина шва (b) — показує розмір шва по горизонталі.
- Опуклість шва (a) — характеризує форму шва на поверхні та його виступання над площиною металу.

Ці параметри впливають на міцність та якість зварного з'єднання, забезпечуючи надійність і відповідність вимогам до кінцевого виробу.

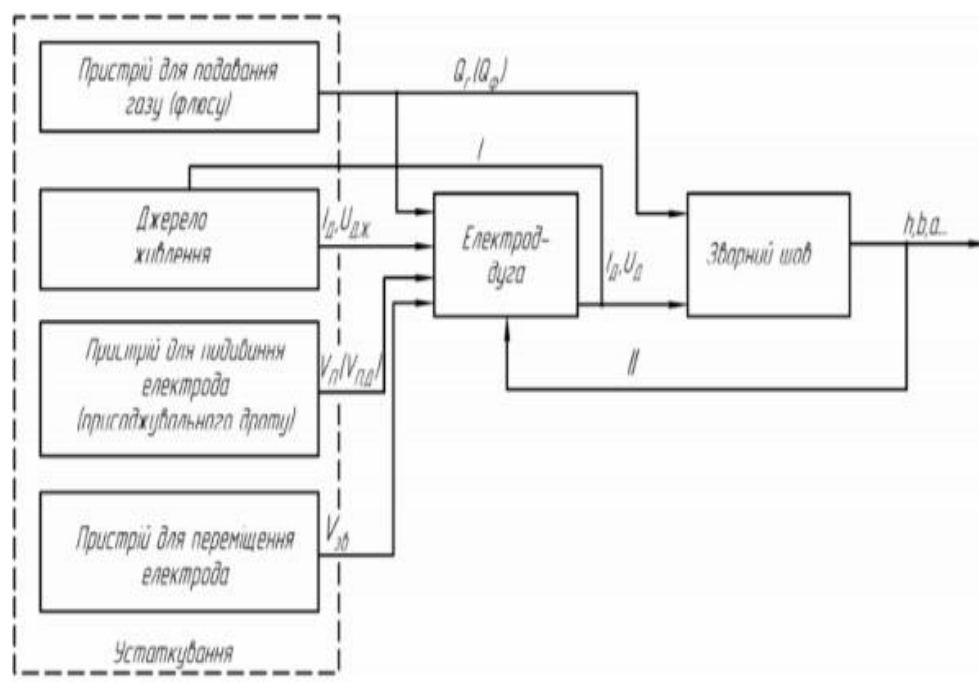


Рисунок 3.7 – Структура об'єкта керування у процесі дугового зварювання
3.2.2 Розрахунок параметрів режиму зварювання

Для визначення оптимального режиму зварювання необхідно підібрати параметри, які забезпечать отримання швів потрібних розмірів, форми та якості. З цією метою доцільніше проводити розрахунок параметрів режиму зварювання, ніж їх випадковий підбір, оскільки це гарантує стабільність і відповідність технологічним вимогам.

При зварюванні бункера бурякозбирального комбайна використовуються таврові та напусткові шви з катетами 4 і 5 мм, а також кутові шви з катетом 2 мм. Вибір типів і катетів швів здійснюється на основі технологічних вимог до з'єднань, які повинні забезпечити необхідну міцність і надійність конструкції.

При розрахунку параметрів режиму зварювання необхідно в першу чергу забезпечити отримання заданого катету шва.

Проведемо розрахунок параметрів режиму зварювання, кутового з'єднання катетом шва 2 мм.

Визначаємо площу поперечного перерізу наплавленого металу при отриманні плоского шва за такою формулою [5, с.196]

$$F_H = \frac{K^2}{2}, \quad (3.1)$$

де K - катет шва, мм

Висоту наплавленого металу визначаємо за такою формулою [10, с.251]

$$h_H = \sqrt{F_H}, \quad (3.2)$$

$$h_H = \sqrt{2} = 1,4 \text{ мм.}$$

Ширину шва визначаємо як гіпотенузу прямокутного трикутника за формулою:

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

$$l = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2,83 \text{ мм.}$$

Загальну висоту шва визначаємо із співвідношення [5, с. 188]

$$l = \psi_{\text{пр}} * H, \quad (3.4)$$

де $\psi_{\text{пр}}$ - коефіцієнт форми провару.

Приймаємо $\psi_{\text{пр}}=0,8$ [5, с.186].

$$H = \frac{2,83}{0,8} = 3,54 \text{ мм.}$$

Глибину проплавлення основного металу визначаємо за такою формулою [10, с.251]

$$h_0 = H - h_n, \quad (3.5)$$

$$h_0 = 3,54 - 1,4 = 2,14 \text{ мм}$$

Силу зварювального струму визначаємо за наступною формулою

$$I_{зв} = \frac{H_1}{k_n} * 100, \quad (3.6)$$

де k_n - коефіцієнт пропорційності, величина якого залежить від умов виконання зварювання, $k_n=1,75$ [5, с.493];

H_1 - глибина проплавлення основного металу, мм.

$$I_{зв} = \frac{2,14}{1,75} * 100 = 122,3 \text{ А.}$$

Приймаємо $I_{зв}=130 \text{ А.}$

Діаметр електродного дроту уточнюємо за такою формулою [5, с.193]

$$d_e = 1,13 \sqrt{I_{зв}/j}, \quad (3.7)$$

де j – допустима густина струму, А/мм.

Приймаємо $j=70 \text{ А/мм}$ [10, с.244].

$$d_e = 1,13 \sqrt{130/70} = 1,54 \text{ мм} \approx 1,6 \text{ мм} = 1,6 * 10^{-3} \text{ м.}$$

Напруга на дузі визначаємо за наступною формулою [5, с.194]

$$U_d = 20 + \frac{50 * 10^{-2}}{d_e^{0,5}} * I_{зв} \pm 1 \quad (3.8)$$

$$U_d = 20 + \frac{50 * 10^{-2}}{1,6^{0,5}} * 130 \pm 1 = 25,1 \pm 1 = 24 \text{ В}$$

Швидкість подачі дроту визначаємо за такою формулою [10, с.246]

$$V_{пд} = \frac{4 * \alpha_H * I_{зв}}{\pi * d_e^2 * \gamma}, \quad (3.9)$$

де α_H - коефіцієнт наплавлення металу, кг/(А*год).

При зварюванні на постійному струмі зворотної полярності $\alpha_H = (11,6 \pm 0,4) \text{ г/(А*год)}$ [10,с.246], маємо $\alpha_H = 12 \text{ г/(А*год)} = 12 * 10^{-3} \text{ кг/(А*год)}$; γ – густина електродного дроту, кг/м³ ($\gamma=7800 \text{ кг/м}^3$)

$$V_{пд} = \frac{4 * 12 * 10^{-3} * 130}{3,14 * (1,6 * 10^{-3})^2 * 7800} = 99,5 \frac{\text{м}}{\text{год}} \approx 100 \text{ м/год}$$

Швидкість зварювання визначається за наступною формулою [10, с.246]

$$V_{зв} = \frac{\alpha_H \cdot I_{зв}}{F_H \cdot \gamma}, \quad (3.10)$$

$$V_{зв} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 130}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 100 \frac{\text{м}}{\text{год}}.$$

Значний вплив на якість зварного шва має витрата захисного вуглекислого газу. Необхідна для зварювання кількість газу залежить від режиму зварювання та від форми і розмірів виробу. Але, так як зварювання ведеться в суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ з процентним вмістом кисню 30 % об'ємні витрати вуглекислого газу будуть рівними:

$$B_r = \frac{70 \cdot 10}{100} = 7 \text{ л/хв.}$$

Таблиця 3.3 - Параметри режимів зварювання в суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2$

Катет шва К, мм		2	4	5
Діаметр електродного дроту d_e , мм		1,6	1,6	1,6
Струм зварювання $I_{зв}$, А		130	200	220
Напруга на дузі $U_{зв}$, В		24	27	30
Швидкість подачі електродного дроту $V_{п.с}$ м/год		100	153	168
Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/год		100	39	27
Об'ємні витрати, л/хв	CO_2	7	7	7
	O_2	3	3	3
Виліт електроду, мм		36	36	36

Відповідно об'ємні витрати кисню будуть становити 3 л/хв. Для діаметру електродного дроту 1,6 мм виліт електроду становить 18 ... 22 мм приймаємо виліт електроду рівний 18 мм. При зварюванні в суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ використовується збільшений виліт електродного дроту, який не менше ніж у два рази перевищує довжину нормального вильоту. Тому виліт електроду приймаємо рівним 36 мм [18, с.12].

3.2.3 Вибір і обґрунтування зварювального обладнання та пристосувань

Обладнання для дугового зварювання в середовищі захисних газів може бути як універсальним, так і спеціалізованим. Основна особливість цього обладнання полягає в наявності вузлів, агрегатів та допоміжних пристроїв, призначених для захисту металу шва та прилеглої зони від впливу повітря під час зварювання.

Конструкція та технічні характеристики джерела живлення, апаратів із приладами керування і регулювання процесу залежать від технології зварювання в середовищі захисних газів.

Джерела живлення для зварювальної дуги повинні відповідати таким вимогам:

- забезпечувати необхідні значення сили струму та напруги на дузі для відповідного технологічного процесу;
- мати відповідну зовнішню характеристику для стабільного горіння дуги;
- володіти динамічними властивостями, які дозволять надійно збуджувати дугу та знижувати рівень розбризкування металу.

Потужність джерела живлення визначається необхідною силою зварювального струму для конкретного технологічного процесу [12, с. 129].

Для механізованого зварювання в середовищі вуглекислого газу використовуються випрямлячі з жорсткими зовнішніми характеристиками. Промисловість випускає однопостові зварювальні випрямлячі з такими характеристиками, наприклад, типи ВДГ та ВСЖ. Випрямлячі типу ВДГ є пересувними й призначені для роботи в повторно-короткочасному режимі з ПВ = 60% при примусовому повітряному охолодженні.

Відповідно до вищевказаних вимог, для зварювання рами вагонетки обрано випрямляч типу ВДГ-503-3. Він призначений для роботи з зварювальними напівавтоматами уніфікованої серії. Технічні характеристики випрямляча ВДГ-503-3 наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4- Технічна характеристика випрямляча ВДГ-503-3 [5,с.137]

Номінальна робоча напруга, В	30
Номінальна сила струму, А	500
Напруга холостого ходу, В	—
Живляча номінальна потужність, кВА	—
Коефіцієнт корисної дії, %	72
Межі регулювання струму, А	40 ...315
Межі регулювання напруги, В	15 ...32
Зовнішня характеристика	жорстка
Кількість постів	

Маса, кг	210
----------	-----

Апарати, в яких подача електродного дроту механізована, а переміщення напівавтоматами. В напівавтоматах для зварювання плавким електродом в захисних газах електродний дріт з допомогою електричного приводу і механізму подачі подається з касети по гнучкому шлангу до зварювального пальника.

Підведення до пальника зварювального струму, захисного газу і ланцюгів керування також здійснюється гнучкими кабелями і трубками, об'єднаними в один шланг [12, с. 103].

Напівавтомат типу ПДГ-512 використовується для дугового зварювання у вуглекислому газі, він штовхаючого типу, відкритий, переносний.

Напівавтомат дозволяє зварювати кутові, таврові і напусткові шви. Технічна характеристика напівавтомату ПДГ-512 приведена в таблиці 3.5 [13, с.133].

Найбільш важливим вузлом будь-якого зварювального апарату є пальник. За допомогою пальника збуджується зварювальна дуга і здійснюється формування і направлення потоку захисного газу.

Таблиця 3.5- Технічна характеристика напівавтомату ПДГ-512

Номінальний зварювальний струм, А	515
Діаметр електродного дроту, мм	0,8...2,0
Швидкість подачі електродного дроту,	100...960
Маса подаючого пристрою, кг	5
Джерело живлення	ВДГ-303

Конструкція зварювального пальника повинна забезпечувати: безпечність роботи, стабільність процесу зварювання, ефективний захист зони зварювання, мінімальне наплення розплавленого металу на сопло, легку зміну зношених деталей новими [12, с. 95].

Технічна характеристика серійного пальника типу ГДПГ-302 для напівавтоматичного зварювання плавким електродом в середовищі захисних приведена в таблиці 3.6 [13,с.137].

Таблиця 3.6-Технічна характеристика пальника ГДПГ-302

Номінальний зварювальний струм, А	315
-----------------------------------	-----

Спосіб захисту	Газовий захист
Діаметр електродного дроту, мм	1,6...2,0
Довжина шлангу, м	2
Маса, кг	07

При виборі зварювальних пристосувань слід враховувати такі фактори:

- можливість автоматизації або механізації процесу зварювання;
- швидкість та надійність фіксації деталей або виробу;
- зручність при виконанні зварювальних і складальних операцій [14, с.57].

Для забезпечення високої якості та ефективності зварювальних робіт необхідно також врахувати:

- правильне складання з'єднань з оптимальним зазором;
- доступність зони зварювання для інструменту;
- раціональну послідовність виконання складальних і зварювальних операцій та порядок нанесення швів;
- правильне позиціонування деталей та узгодження руху інструменту і виробу для досягнення оптимальних умов зварювання [14, с.55].

До основних видів механічного зварювального обладнання належать:

- кондуктори з жорсткою основою у вигляді рами або плити, з установчими та затискними елементами;
- стенди з нерухомою основою, що мають додаткове переміщувальне обладнання;
- універсальні складальні пристосування з основою у вигляді плити з Т-подібними пазами для встановлення й закріплення деталей;
- переносні пристрої (затяжки, струбцини, розпірки тощо), які зазвичай використовуються для монтажу великих виробів [14, с.56].

Для виготовлення вузлів, з яких складається бункер самохідного бурякозбирального комбайна моделі КБМ6-85010, з технологічних та конструктивних причин обираються складально-зварювальні кондуктори з жорсткою основою у вигляді рами, на якій розташовані установчі й затискні елементи для правильного розташування деталей.

Для завершального складання та зварювання бункера використовується кантувач, який дозволяє обертати виріб навколо горизонтальної осі та встановлювати його в зручне для зварювання положення.

Вибір допоміжного зварювального обладнання:

За допомогою підйимально-транспортного обладнання здійснюється переміщення компонентів у складально-зварювальному процесі.

У зварювальному виробництві важливими є процеси навантаження, транспортування, розвантаження та кантування заготовок, деталей, вузлів і готових виробів на кожному етапі технологічного процесу. Для цих цілей використовують підйимально-транспортне обладнання, яке поділяється на дві основні групи: вантажопідймальні та транспортувальні машини.

Основні вантажопідймальні машини, що використовуються у складально-зварювальному виробництві, це електроталі та крани [15, с.188]. Електроталі виготовляються за стандартом ГОСТ 22584-77 і мають максимальну вантажопідйомність до 50 кН [16, с.325]. Електроталі з вантажопідйомністю 2,5 кН оснащені ручним приводом переміщення, тоді як для моделей з вантажопідйомністю 10 кН і більше використовують електричний привід. Електроталі з вантажопідйомністю 5 кН можуть мати як ручний, так і електричний привід. Стандартні електроталі мають швидкість переміщення до 1200 м/год, а швидкість підйому — до 480 м/год, з можливістю керування з підлоги за допомогою підвісного кнопкового пульта [15, с.133]. Максимальна висота підйому — 18 метрів [16, с.525]. Переміщуються електроталі по однорельсовій системі (монорельсу) [15, с.188].

У зварювальному виробництві широко використовуються різні типи кранів, такі як мостові, велосипедні, напівкозлові та стаціонарні постові. Найбільше розповсюдження отримали електричні мостові крани, які є універсальними підйимально-транспортними машинами. Вони обслуговують практично всю площу цеху, не займаючи виробничого простору.

До транспортних машин належить обладнання для безперервного транспорту (конвеєри), а також візки, автотранспортувачі, електрокари та допоміжні пристрої (щитки, візки) [15, с.192].

З урахуванням технологічних та конструктивних вимог, для виготовлення бункера бурякозбирального комбайна як допоміжне зварювальне обладнання використовується вантажопідіймальна електроталь із вантажопідйомністю 5 кН. Для транспортування застосовується самохідний візок, за допомогою якого здійснюються як місцеві, так і внутрішньо-цехові перевезення.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Характеристика і аналіз потенційних небезпек в цеху

Процес зварювання вимагає суворого дотримання правил техніки безпеки та охорони праці, що мають бути відображені в технологічних картах і неухильно виконуватися під час зварювальних робіт. При використанні виробничого обладнання існує ризик травматизму через дію шкідливих факторів. Простір, де ці фактори діють постійно або періодично, називається небезпечною зоною.

Під час зварювання та різання металів у повітря виробничих приміщень можуть потрапляти шкідливі речовини, такі як зварювальний аерозоль, який містить пил, токсичні гази і випаровування. До таких речовин належать газоподібні фтористі сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту та інші шкідливі сполуки [26, с.213].

Потужне ультрафіолетове та світлове випромінювання зварювальної дуги може спричинити електроофтальмію, якщо впливає на очі працюючого, а тривала дія інфрачервоного випромінювання може призвести до розвитку катаракти через помутніння кришталіка ока.

При проектуванні і експлуатації зварювальних підприємств необхідно вживати профілактичних заходів щодо попередження виробничого травматизму і професійних захворювань. Головна увага має бути приділена зниженню дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів.

Для захисту від небезпечних факторів використовують як колективні, так і індивідуальні засоби захисту. Існує чотири основні групи засобів захисту:

- огорожуючі,
- запобігаючі,
- сигналізаційні,
- дистанційне управління.

Огороджуючі засоби можуть бути стаціонарними, з'ємними або переносними. Стаціонарні огороження постійно закривають доступ до небезпечної зони і знімаються лише під час огляду, змащування або ремонту. До таких огорожень належать корпуси обладнання, суцільні кожухи та бар'єри.

Засоби захисту повинні бути перевірені на відповідність вимогам стандартів і регулярно тестуватись для забезпечення надійності їх використання.

З'ємні огороження встановлюються в тих місцях, де необхідний періодичний доступ до небезпечної зони для виконання допоміжних операцій. Вони блокуються з робочими органами обладнання, що запобігає його роботі при відкритих огороженнях. Переносні огороження використовуються під час ремонтних або будівельних робіт для тимчасового забезпечення безпеки в небезпечних зонах.

Запобігаючі засоби необхідні для попередження аварій і поломок, які можуть стати причиною травматизму. Ці системи працюють автоматично: при порушенні допустимих параметрів вони відключають відповідне обладнання або його частину. Встановлення віброуючого обладнання на віброгасячі фундаменти допомагає знизити вплив вібрацій на працівників. Для роботи з ручними електричними або пневматичними інструментами використовуються віброізолюючі рукавиці, захисні рукоятки або прокладки. Працівникам, які працюють з віброуючим обладнанням, рекомендується робити 10-15-хвилинні перерви щогодини.

Запобігаючі знаки і плакати вивішуються у небезпечних місцях для підвищення обізнаності працівників.

Електричне обладнання на виробництві є особливо небезпечним, оскільки людина не здатна виявити електричну напругу безпосередньо. Електроенергія використовується для приводу обладнання, освітлення робочих місць та управління процесами. Хоча електрифікація підвищує продуктивність праці, вона також вимагає наявності ефективних засобів захисту для запобігання ураження електричним струмом.

Для індивідуального захисту працівників, які обслуговують електроустановки, використовуються ізолюючі інструменти (штани, кліщі, рукавиці), діелектричні боти та калоші, а також діелектричні килимки, мати і підставки. Всі ці засоби мають регулярно перевірятися на справність і відповідність вимогам безпеки.

Засоби індивідуального захисту працівників, такі як діелектричні рукавички, інструменти, боти, регулярно перевіряються на пробій і мають відповідати вимогам стандартів. Вони маркуються згідно з діючими правилами для гарантії їхньої безпеки та надійності [26, с.215].

Аналіз нещасних випадків у промисловості показує, що травми, спричинені електричним струмом, становлять лише 0,5-1% від загальної кількості випадків тимчасової втрати працездатності. Проте серед нещасних випадків, що призводять

до інвалідності чи смерті, 40% є наслідком ураження електричним струмом. Особливо небезпечними є електричні мережі напругою до 1000 В, на які припадає 80% таких випадків.

Для полегшення праці зварників та підвищення їхньої безпеки використовують різноманітні пристрої, як-от кондуктори, кантувачі, маніпулятори, струбцини та затискачі. Ці засоби допомагають утримувати і переміщати деталі, що покращує умови праці та зменшує ризик травмування.

До заходів, що сприяють поліпшенню умов праці зварників, належать:

- Автоматизація і механізація виробничих процесів, що знижують фізичне навантаження.
- Захист очей від променистої енергії за допомогою спеціальних щитків і масок.
- Видалення пилу і газів із робочих приміщень завдяки вентиляційним системам.
- Заходи безпеки щодо захисту від ураження електричним струмом.

Освітлення виробничих приміщень — як природне, так і штучне — також є важливим аспектом для підвищення продуктивності та забезпечення гігієнічних умов праці [27, с.87].

Використання механізованого транспорту для переміщення важких деталей полегшує працю зварників, знижує ризик травматизму і підвищує ефективність роботи. Під час зварювання електрична дуга випромінює невидимі ультрафіолетові та інфрачервоні промені, які можуть спричинити опіки шкіри або пошкодження зору. Тому зварники захищають шкіру спеціальним робочим одягом, а очі — захисними щитками або масками.

Для запобігання механічному пошкодженню очей під час прибирання флюсу і відбивання шлаку зварник повинен використовувати захисні окуляри зі звичайним склом. Якщо очі зазнали опіків, необхідно застосовувати холодні компреси, промивати їх слабким содовим розчином або закапувати очні краплі з вмістом цинку. У разі серйозних опіків слід негайно звернутися до лікаря [27, с.185].

Під час зварювання у середовищі вуглекислого газу виділяється чадний газ, який є шкідливим для організму. Оскільки вуглекислий газ є важчим за повітря, він може накопичуватися у тісних або закритих приміщеннях, спричиняючи нестачу

кисню для дихання. Щоб уникнути цього, необхідно забезпечувати ефективну вентиляцію: загальну або місцеву.

- Загальна вентиляція повинна бути приточно-витяжною, з можливістю підігріву повітря в зимовий період. Вона забезпечує загальний повітрообмін у приміщеннях (цехах, майстернях тощо).
- Місцева вентиляція застосовується для видалення шкідливих газів безпосередньо з місць їх утворення.

Для робіт у закритих приміщеннях використовуються ізолюючі апарати, такі як ШР-1, ША-40, ДПА-4, або маски з шлангами для подачі свіжого повітря. У разі отруєння працівника чадним газом його слід негайно винести на свіже повітря, звільнити від тісного одягу і забезпечити відпочинок до прибуття лікаря. Якщо дихання зупинилося, необхідно застосувати штучне дихання [27, с.186].

4.2. Заходи пожежної безпеки при експлуатації обладнання

Для забезпечення пожежної безпеки при експлуатації обладнання на виробничих ділянках слід враховувати декілька важливих аспектів:

Класифікація будівельних матеріалів за займистістю:

- Незгоряючі матеріали: це матеріали, які не займаються і не обуглюються під впливом вогню або високих температур (переважно метали та мінеральні матеріали).
- Важкозгоряючі матеріали: можуть займатися і горіти лише за умови постійної дії стороннього джерела вогню. До них належать конструкції з дерева, оброблені вогнезахисними сумішами.
- Згоряючі матеріали: це матеріали, здатні горіти самостійно після видалення джерела вогню (наприклад, більшість пластикових матеріалів).

Вогнестійкість будівельних конструкцій:

- Підвищити вогнестійкість можна облицюванням або обштукатурюванням металевих конструкцій. Рекомендуються матеріали з низькою масою та мінімальною температуропровідністю.
- Протипожежні стіни мають бути з незгоряючих матеріалів з межею вогнестійкості не менше 2,2 години. Вони повинні опиратися на фундаменти та витримувати однобічне завалення конструкцій у разі пожежі.

Вплив пожежі на будівельні конструкції:

– Під час пожежі на конструкції впливають високі температури, їх власна маса, експлуатаційні та додаткові статичні навантаження (наприклад, від води при гасінні або уламків завалених конструкцій). Це може призвести до деформації або втрати міцності конструкцій.

– Нагрівання конструкцій може викликати їх прогоряння, утворення тріщин і поширення пожежі в сусідні приміщення.

Евакуація людей:

– Проектування будівель повинно враховувати можливість швидкої та безпечної евакуації людей у разі пожежі. Люди мають залишити будівлю у найкоротші терміни, що залежить від відстані до найближчого виходу [27, с.357].

Ці заходи є важливими для забезпечення пожежної безпеки та мінімізації наслідків можливих пожеж.

Під час виникнення пожежі в будівлях і спорудах виділяється велика кількість диму, який може значно ускладнити евакуацію людей і процес гасіння вогню. Дим не тільки затемнює приміщення, але й має задушливі властивості, що створює додаткову небезпеку для тих, хто перебуває всередині.

Для ефективного видалення диму та газів під час пожежі застосовуються наступні заходи:

1. Використання віконних прорізів та аераційних ліхтарів: це природні засоби для виведення диму з приміщень. Вони дозволяють вивести продукти горіння через наявні отвори у будівлях.

2. Димові люки: це спеціальні пристрої, призначені для видалення продуктів згоряння і забезпечення чистоти повітря в суміжних приміщеннях. Вони також допомагають керувати процесом горіння, спрямовуючи полум'я в потрібний напрямок для полегшення гасіння пожежі.

– Місця встановлення димових люків: димові люки зазвичай встановлюються в підвальних приміщеннях, у перекриттях складських приміщень та в безліхтарних виробничих будівлях.

3. Конструкції, що легко скидаються: це елементи будівлі, які можуть швидко відкритися або бути видалені для полегшення виходу диму та газів з приміщень.

Ці заходи сприяють швидшому видаленню диму, що значно покращує умови для евакуації та дозволяє пожежникам ефективніше боротися з вогнем [27, с.358].

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Для вдосконалення процесу ремонту комбайнів в майстерні господарства було проведено модернізацію організації і технології ремонтних робіт, що сприяло зниженню трудомісткості цих процесів. Крім того, для підвищення ефективності було встановлено нове обладнання, придбане спеціально для наявної майстерні. Паралельно з цим здійснювалися додаткові капіталовкладення для придбання ще більш сучасного устаткування. Основними техніко-економічними показниками цього проєкту є рівень рентабельності, обсяги виробництва, річний економічний ефект і період окупності вкладених капіталів.

Обчислимо витрати на проведення поточного ремонту обладнання:

Заробітну плату з нарахуванням розрахуємо за формулою:

$$З = З_0 + З_{\text{дод}} + З, \text{ грн} \quad (5.1)$$

$З$ – заробітна плата, нарахована за рік, грн;

$З_0$ – базова річна заробітна плата, грн;

$З_{\text{дод}}$ – додаткова заробітна плата, грн, яка розраховується за формулою:

$$З_{\text{дод}} = 0,2 \cdot З_0;$$

$З_{\text{н}}$ – нарахування на заробітну плату, грн, визначаються як: $З_{\text{н}} = 0,375 \cdot (З_0 + З_{\text{дод}})$.

$$З_0 = Н_3 \cdot Т_{\text{заг}}, \quad (5.2)$$

$Н_3$ – середньорічна тарифна ставка, грн/год, яка дорівнює $Н_3 = 16,27$ грн/год. Место для уравнения.;

$Т_{\text{заг}}$ – загальна трудомісткість робіт, де для базового варіанту $Т_{\text{заг}}^{\text{б}} = 1501$ люд-год, а для проектного варіанту $Т_{\text{заг}}^{\text{пр}} = 2601,45$ люд-год.

Тоді:

$$З_0^{\text{б}} = 16,27 \cdot 1501 = 24421,27 \text{ грн};$$

$$З_0^{\text{пр}} = 16,27 \cdot 2601,45 = 42309,32 \text{ грн};$$

$$З_{\text{дод}}^{\text{б}} = 0,2 \cdot 24421,27 = 4884,24 \text{ грн};$$

$$З_{\text{дод}}^{\text{пр}} = 0,2 \cdot 42309,32 = 8460,46 \text{ грн};$$

$$З_{\text{н}}^{\text{б}} = 0,375 \cdot (24421,27 + 4884,24) = 10989,56 \text{ грн};$$

$$З_{\text{н}}^{\text{пр}} = 0,375 \cdot (42309,32 + 8460,46) = 19038,66 \text{ грн};$$

Підставимо отримані значення у рівняння (5.1) для розрахунку річного фонду заробітної плати:

$$З_{\text{н}}^{\text{б}} = 24421,27 + 4884,24 + 10989,56 = 40295,07 \text{ грн};$$

$$З_{\text{н}}^{\text{пр}} = 42309,32 + 8460,46 + 19038,66 = 69808,44 \text{ грн};$$

Амортизація обладнання обчислюється за формулою:

$$A = \frac{B \cdot H_A}{100}, \quad (5.3)$$

Б – загальна сума капіталовкладень, відображена у балансовій вартості обладнання, грн, зокрема, для базового варіанту $B_{\text{б}} = 129800$ грн, а для проектного $B_{\text{пр}} = 167200$ грн;

H_A – ставка амортизації для розрахунків, яка складає $H_A = 15\%$.

Таким чином, річні амортизаційні відрахування:

$$A^{\text{б}} = \frac{129800 \cdot 15}{100} = 19470 \text{ грн};$$

$$A^{\text{пр}} = \frac{167200 \cdot 15}{100} = 25080 \text{ грн};$$

Затрати на поточний ремонт обладнання розраховуються за формулою:

$$P_0 = \frac{B \cdot H_p}{100}, \quad (5.4)$$

H_p – стандартний відсоток на ремонт обладнання, який становить $H_p = 3,5\%$.

$$P_0^{\text{б}} = \frac{129800 \cdot 3,5}{100} = 4543 \text{ грн};$$

$$P_0^{\text{пр}} = \frac{167200 \cdot 3,5}{100} = 5852 \text{ грн};$$

Витрати на запасні частини та матеріали складають 150% від річного фонду заробітної плати:

$$C_{\text{зп}} = 1,5 \cdot \text{Зп} \quad (5.5)$$

$$C_{\text{зп}}^{\text{б}} = 1,5 \cdot 40295,07 = 60442,60 \text{ грн};$$

$$C_{\text{зп}}^{\text{пр}} = 1,5 \cdot 69808,44 = 104712,66 \text{ грн};$$

Витрати на електроенергію визначаються з урахуванням загальної потужності обладнання, часу його роботи та освітлення:

$$E = N_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \Pi + N_{\text{осв}} \cdot t_{\text{осв}} \cdot \Pi \quad (5.6)$$

$N_{\text{об}}$ – загальна потужність обладнання (для базового $N_{\text{об}}^{\text{б}} = 22$ кВт, для проектного $N_{\text{об}}^{\text{пр}} = 29$ кВт),

$t_{об} = 1500$ год – час роботи обладнання,

$\Pi = 2,94$ грн/кВт·год – вартість електроенергії,

$N_{осв} = 3,52$ кВт – потужність освітлення,

$t_{осв} = 2070$ год – час роботи освітлення.

$$E^6 = (22 \cdot 1500 \cdot 2,94) + (3,52 \cdot 2070 \cdot 2,94) = 118563,73 \text{ грн};$$

$$E^{пр} = (29 \cdot 1500 \cdot 2,94) + (3,52 \cdot 2070 \cdot 2,94) = 149433,73 \text{ грн};$$

Інші витрати:

$$З_{ін} = (З + А + Р_0 + С_{зп} + Е) \cdot 0,03 \quad (5.7)$$

$$З_{ін}^6 = (40295,07 + 19470 + 4543 + 60442,60 + 118563,73) \cdot 0,03 = 7299,43 \text{ грн};$$

$$З_{ін}^{пр} = (69808,44 + 25080 + 5852 + 104712,66 + 149433,73) \cdot 0,03 = 10646,60 \text{ грн}$$

Сума всіх витрат:

$$З_{заг} = З + А + Р_0 + С_{зп} + Е + З_{ін} \quad (5.8)$$

$$З_{заг}^6 = 40295,07 + 19470 + 4543 + 60442,60 + 118563,73 + 7299,43 = 250613,83$$

грн;

$$З_{заг}^{пр} = 69808,44 + 25080 + 5852 + 104712,66 + 149433,73 + 10646,60 = 365533,43$$

грн;

Визначення поточних витрат на одиницю продукції:

$$З_{од} = \frac{З_{заг}}{n} \quad (5.9)$$

n – кількість відремонтованих комбайнів.(для базового $n=4$, для проектного $n=6$).

$$З_{од}^6 = \frac{250613,83}{3} = 83537,94 \text{ грн};$$

$$З_{од}^{пр} = \frac{365533,43}{6} = 60922,23 \text{ грн};$$

Розмір капіталовкладень на одиницю продукції:

$$КВ = \frac{К}{n}, \quad (5.10)$$

$$КВ^6 = \frac{129800}{3} = 43266,66 \text{ грн};$$

$$КВ^{пр} = \frac{167200}{6} = 27866,66 \text{ грн};$$

Приведені затрати на одиницю продукції:

$$ЗП = З_{од} + 0,15 \cdot КВ, \quad (5.11)$$

$$ЗП^6 = 83537,94 + 0,15 \cdot 43266,66 = 90027,93 \text{ грн};$$

$$ЗП^{пр} = 60922,23 + 0,15 \cdot 27866,66 = 65102,23 \text{ грн},$$

Повна цехова собівартість на одиницю продукції:

$$C = З_{п} + K_{н} \cdot ЗП, \quad (5.12)$$

$K_{н}$ – коефіцієнт врахування накладених витрат, $\%K_{н} = 10$.

$$C^6 = 90027,93 + 0,1 \cdot 90027,93 = 99030,72 \text{ грн};$$

$$C^{пр} = 65102,23 + 0,1 \cdot 65102,23 = 71612,45 \text{ грн};$$

Річний економічний ефект:

$$E_p = (C^{пр} \cdot n) - (C^6 \cdot n), \quad (5.13)$$

$$E_p = (71612,45 \cdot 6) - (99030,72 \cdot 3) = 132582,54 \text{ грн};$$

Термін окупності додаткових капіталовкладень:

$$O_k = \frac{K^{пр} - K^6}{E_p}, \quad (5.14)$$

$$O_k = \frac{167200 - 129800}{132582,54} = 0,3 \text{ років}.$$

Основні результати розрахунків представлено у таблиці 5.1.

Показники	Значення показників	
	Базовий	Проектний
Об'єм капіталовкладень, грн	129800	167200
Виробнича площа, м ²	150	190
Річна програма по ремонту комбайнів, ум.рем.	4	8
Загальна трудомісткість робіт, люд.-год.	1501	2601,45
Поточні витрати з ремонту, грн:		
- зарплата з нарахуванням	40295,07	69808,44
- амортизація обладнання	19470	25080
- поточний ремонт обладнання	4543	5852
- запасні частини	60442,60	104712,66
- електроенергія	118563,73	149433,73
- інші витрати	7299,43	10646,60
Всього поточних витрат, грн	250613,83	365533,43
Теж на одиницю продукції, грн	83537,94	60922,23
Розмір капіталовкладень на од., грн	43266,66	27866,66

Приведені витрати на од., грн	90027,93	65102,23
Повна цехова собівартість од., грн	99030,72	71612,45
Річний економічний ефект, грн		132582,54
Строк окупності додаткових КВ, років		0,3

Аналіз проведених розрахунків свідчить про те, що впровадження заходів щодо оптимізації поточного ремонту зернозбиральних комбайнів у СТОВ «Комісарівка» забезпечить економічний ефект, який складе 132582,54 грн на рік. Термін окупності додаткових інвестицій становить 0,3 року, що є досить прийнятним показником.

ВИСНОВОК

У магістерській роботі було розроблено вдосконалену технологію виробництва бункера бурякозбирального комбайна, в основі якої лежить використання електродугового зварювання в середовищі захисних газів з автоматичним керуванням процесом зварювання. У порівнянні з базовим варіантом, запропоновані наступні зміни:

- Механізація затискних елементів: частину немеханізованих затискних елементів замінено на пневматичні притискачі, що дозволяє підвищити ефективність роботи та зменшити трудовитрати.

- Раціоналізація процесу зварювання: замінено спосіб зварювання на більш ефективний і сучасний, що дозволяє досягти кращої якості зварних швів і підвищити продуктивність.

- Оптимізація планування ділянки: змінено планування виробничої ділянки, що сприяє кращому використанню виробничих площ та зменшенню часу виконання операцій.

Також були наведені рекомендовані заходи для зменшення впливу шкідливих факторів на здоров'я працюючих, включаючи вдосконалення системи вентиляції та захисту від випромінювання при зварювальних роботах. Це дозволить покращити умови праці, знизити ризик виробничого травматизму та попередити професійні захворювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Чвертко О.І. Основи раціонального проектування обладнання для автоматичного та механізованого електричного зварювання та наплавлення. – К.: Наукова думка, 1988. – 240 с.
2. Красовський А.І. Основи проектування зварювальних цехів. -К: Машинобудування, 1990. - 319 с.
 3. ОСТ 23.2. 429-80. З'єднання зварних сільськогосподарських машин та тракторів. Загальні вимоги. - замість ОСТ 23.2.429-73; Вед. 01.07.1991. -К.: ЦНТІ, 1991.-26 з.
 4. Довідник конструктора сільськогосподарських машин. У 4-х т. Т.4/За ред. М.І., Клецкіна. - К: Машинобудування, 1989. - 536 с.
 5. Акулов А.І., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технологія та обладнання зварювання плавленням. - К: Машинобудування, 1987. - 432 с.
 6. Марочник сталей та сплавів / За ред. В.Г. Сорокіна. - К: Машинобудування, 1989. – 640 с.
 7. Зварювання у машинобудуванні: У 4-х т.т.4 / За ред. Ю.М. Зоріна. - К: Машинобудування, 1979. - 512
 8. Теорія зварювальних процесів/За ред. В.В. Фролова. – К.: Вища школа, 1988. – 559 с.
 9. Технологія та обладнання зварювання плавленням / Г.Д. Никифоров, Г.В.Бобров, В.М. Нікітін та ін; За ред. Г.Д. Нікіфорова. - К.: Машинобудування, 1986. – 320 с.
 10. Ю.Думов С.І. Технологія електричного зварювання плавленням. – К.: Машинобудування, 1987. – 461 с.
 11. Технологія електричного зварювання металів та сплавів плавленням / За ред. Б.Є. Патона. - К: Машинобудування, 1984. - 767 с.
 12. Зварювання в машинобудуванні: У 4-х т.т.2 / Под ред. А.І. Акулова. - К: Машинобудування, 1988. - 462 с.
 13. Александров А.Г., Заруб І.І., Пінковський Н.В. Експлуатація зварювального обладнання. – К.: Будівельник, 1990. – 224 с.
 14. Куркік С.А., Ніколаєв Г.А. Зварювальні конструкції. Технологія виготовлення, механізація, автоматизація та контроль якості у зварювальному виробництві. – К.: Вища школа, 1991. – 398 с.
 15. Гітлевич А.Д., Етінгоф Л.А. Механізація та автоматизація зварювального

виробництва. - К: Машинобудування, 1992. - 280 с.

16. Зварювання у машинобудуванні: У 4-х т.т.з / Під ред. В.А. Винокурова. - К: Машинобудування, 1989. - 567 с.

17. Волченко В.М. Контролює якість зварних конструкцій. - К: Машинобудування, 1996. - 152 с.

18. ДСТУ 3159-95. Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного та механізованого електрозварювання. - Чинне від 01.07.1996. – К.: Держстандарт України, 1995. – 36 с.

19. Юр'єв В.Т. Довідковий посібник з нормування матеріалів та електроенергії для зварювальної техніки. - К: Машинобудування, 1992. - 52 с.

20. Терещенко В.І., Лібаков О.І. Вибір та застосування способів зварювання при виготовленні конструкцій. – К.: Наукова думка, 1997. – 192 с.

21. Риморів Є.В. Нові зварювальні пристрої. - Л: Будвидавництво, 1988. - 125 с.

22. Корсаков В.С. Основи конструювання пристроїв. - К: Машинобудування, 1993. - 277 с.

23. Гітлевич А.Д., Етінгоф Л.А. Механізація та автоматизація зварювального виробництва. - К: Машинобудування, 1989. - 280 с.

24. Потап'євський А.Г. Зварювання у вуглекислому газі. - К: Машинобудування, 1994. - 80 с.

25. Методичні вказівки щодо виконання організаційно-економічної частини дипломних проектів та курсової роботи з дисципліни “Організація, планування та управління машинобудівним виробництвом (ОПіУВ)” для студентів спеціальності “Обладнання та технологія зварювального виробництва” І.С. Вовчак, О.І. Дубік, М.П. Галушак та ін. – Тернопіль.: ТШ, 1993. - 40 с.

26. Охорона праці. Лабораторний практикум/М.П. Купчик, М.П. Гандзюк, І.Ф. Степанець. – К.: Основа, 1998. – 224 с.

27. Охорона праці машинобудуванні / ЕЛ. Юдін, С.В. Белов, С.К.Баланцев та ін; За ред. Є.Я. Юдін, С.В. Белов. - К: Машинобудування, 1993. - 432 с.

28. Губський А.І. Цивільна оборона. К.: Міністерство освіти, 1995. - 216 с.

29. Підвищення стійкості роботи об'єктів народного господарства воєнний час / За ред. Г.П. Демиденко. – К.: Вища школа, 1994. - 232 с.

30. Громадянська оборона/Ю.В. Боровський, Г.М. Жаворонков, Н.Д. Сердюков та ін; за ред. Є.П. Шубіна. - К.: Просвітництво, 1991 - 223 с.
31. Ансеров Ю.М., Дурнєв В.Д. Машинобудування та охорона навколишнього середовища. - К.: Машинобудування, 1989. - 224 с.
32. Лівчак І.Ф., Воронов Ю.В. Охорона довкілля. Л.: Будвидавництво, 1988. -191 с.
33. Методичні вказівки до розділу дипломного проекту з охорони довкілля / І.П. Твердоступ, А.Д. Молчанов, О.А. Буняк. – Тернопіль.: ТШ, 1994. – 39 с.
34. Іванов М.М. Деталі машин. М.: Вища школа, 1991. – 383 с.