

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

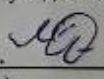
Пояснювальна записка


до кваліфікаційної роботи

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Розроблення системи автоматики та силової електроніки з оптимізацією її параметрів для машини контактного стикового зварювання чорних металів

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Лобода Є.В. 
(прізвище та ініціали)

Керівник Трет'як А.В. 
(прізвище та ініціали)

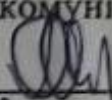
Рецензент Галай В.М
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автоматики, електроніки та
телекомунікацій


О.В. Шефер
“ 02 ” 09 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лобода Євгеній Володимирович

1. Тема проекту (роботи) **«Розроблення системи автоматичної та силових електроніки з оптимізацією її параметрів для машини контактної зварювання чорних металів»**
керівник проекту (роботи) **Трет'як Андрій Валерійович, к.т.н.**
затверджена наказом вищого навчального закладу від “ 09 ” 08 2024 року
№ 818-ф.а
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.12.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна документація на зварювальну машину. Матеріал для зварювання – Сталь, максимальний переріз деталей що зварюються – 60мм²
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз методів та обладнання, що існують, для контактної зварювання чорних металів. Математичне моделювання процесу зварювання. Моделювання та оптимізація пневмо-електросистеми для зварювальної машини. Розроблення силових електричних схем. Дослідження та аналіз оптимізованої зварювальної машини. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) Аналіз обладнання, що існує, для контактної зварювання
 - 2) Математична модель зварювальної машини

- 3) Графічні залежності процесу зварювання
- 4) Пневмо-електросистема зварювальної машини
- 5) Силова електрична схема зварювальної машини
- 6) Загальний вигляд машини
- 7) Результати зварювання оптимізованої зварювальної машини
- 8) Висновки по роботі

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
		Термін	Квартал	Обсяг	
1	Огляд обладнання, що існує, для контактного зварювання	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Аналіз методів та обладнання, що існують, для контактного зварювання	16.10.24	I	25%	Пл. 2
3	Математичне моделювання процесу зварювання	05.11.24		40%	Пл. 3
4	Моделювання та оптимізація пневмо-електросистеми для зварювальної машини	19.11.24	II	60%	Пл. 4
5	Розроблення силової електричної схеми	26.11.24		70%	Пл. 5
6	Дослідження та аналіз оптимізованої зварювальної машини	11.12.24		90%	Пл. 6,7
7	Оформлення пояснювальної записки	19.12.24	III	100%	Пл. 8

Магістрант

(підпис)

Лобода Є.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Трет'як А.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Огляд машин, що існують для контактного зварювання	6
1.2 Додаткове обладнання для контактного зварювання	10
1.3 Методи контактного зварювання, принцип дії, переваги, застосування	13
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПНЕВМО-ЕЛЕКТРОСИСТЕМИ	
2.1 Основні етапи проектування	21
2.2 Математичне моделювання процесу зварювання	23
2.3 Розрахунок та оптимізація пневмо-електросистеми	30
2.4 Принцип роботи пневмо-електросистеми	43
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИНИ	
3.1 Основні етапи проектування	45
3.2 Принцип роботи та будова силової електричної схеми	57
3.3 Технічні характеристики машини, будова та принцип роботи	60
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОПТИМІЗОВАНОЇ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ	
4.1 Дослідження та аналіз оптимізованої зварювальної машини	67
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТКИ	

ВСТУП

У сучасній промисловості зростає потреба в підвищенні ефективності технічних процесів, пов'язаних з автоматизацією виробництва та оптимізацією електронних систем. Одним з таких важливих процесів є контактне стикове зварювання чорних металів, яке широко використовується в різних галузях машинобудування, будівництва та металургії. Контактне зварювання є високопродуктивним і економічно вигідним методом з'єднання металевих елементів, але його якість і стабільність сильно залежать від параметрів системи управління і силової електроніки.

Розвиток сучасних автоматизованих систем значно підвищив точність і надійність процесу зварювання, дозволивши оптимально контролювати струм, напругу, час і температуру зварювання. Це особливо актуально для чорних металів, де будь-які помилки в процесі можуть призвести до низької якості з'єднання і пошкодження компонентів.

Крім того, автоматизація зварювального процесу зменшує вплив людського фактору. Це особливо важливо в сучасних виробничих установках, де потрібна висока якість і точність. Для цього розроблені інтелектуальні системи управління, які можуть адаптуватися до мінливих умов і автоматично регулювати параметри зварювання в режимі реального часу. Це не тільки покращує якість зварних з'єднань, але і знижує споживання енергії, що є важливим фактором з точки зору економічної ефективності.

У даній роботі розглянуто основні етапи розроблення та оптимізації системи автоматики, проаналізовано особливості зварювання чорних металів та проведено огляд обладнання, що існує для контактного зварювання. Основний акцент зроблено на розробці та вдосконаленні силової електроніки, яка оптимізує енергетичні процеси в системі та забезпечує точне керування параметрами зварювання.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження і розробка системи автоматичної та силової електронної системи для машин контактної зварювання чорних металів та подальша оптимізація її параметрів. Система повинна забезпечити високоточне керування процесом зварювання, підвищену стабільність роботи, адаптивність до мінливих умов виробництва та з'єднання металевих деталей високої якості з мінімальними енерговитратами.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи магістра полягає в тому, що оптимізація параметрів роботи машини контактної зварювання дозволить не лише покращити якість зварювальних з'єднань, але й зможе забезпечити підвищення ефективності виробничого процесу в цілому. У зв'язку з цим, розробка системи автоматичної та силової електроніки машини контактної зварювання чорних металів, є актуальним завданням.

Результатом кваліфікаційної роботи магістра буде розроблена і оптимізована система автоматичної та силової електроніки для машини контактної зварювання чорних металів, що може бути застосована на реальному виробництві.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд машин, що існують для контактного зварювання

Контактне зварювання - це метод з'єднання металевих деталей шляхом пропускання електричного струму через контакт між ними, що призводить до їх нагрівання і злиття. Існує кілька типів обладнання для цього виду зварювання, кожен з яких використовується для певного завдання або матеріалу.

Основні види обладнання для контактного зварювання:

1. Машини для точкового зварювання

Ці машини використовуються для зварювання окремих точок на листових матеріалів. Вони широко застосовуються в автомобільній, сталеливарній та електронній промисловості..

Основні види:

- Ручні апарати – використовуються для невеликих робіт або ремонту. Вони прості в обслуговуванні, мобільні, але менш продуктивні, ніж промислові аналоги.
- Напівавтоматичні системи – підходять для серійного виробництва. Зварювальний процес частково автоматизований, що підвищує швидкість і точність операцій.
- Повністю автоматизовані машини – використовуються на великих заводах, де потрібно виконувати зварювання великої кількості точок одночасно з мінімальним людським втручанням.



Рисунок 1.1 – Обладнання для контактного та точкового зварювання

2. Шовні зварювальні машини

Ці машини використовуються для безперервного зварювання в лініях, наприклад, для герметизації металевих корпусів або резервуарів. Електроди цих машин мають форму роликів і рухаються вздовж шва для виконання безперервного зварювання.

Основні види:

- Машини з роликівими електродами – основний тип обладнання для цього процесу. Ролики обертаються та стискають деталі, забезпечуючи зварювання по лінії.
- Автоматизовані лінії – застосовуються для виробництва великих обсягів продукції з високими вимогами до точності і герметичності шва, наприклад, у виробництві труб або паливних баків.



Рисунок 1.2 – Машина шовного зварювання

3. Стикові машини для контактного зварювання

Цей тип обладнання використовується для з'єднання кінців металевих стрижнів і труб. Електричний струм нагріває метал у місці з'єднання, а механічний тиск спричиняє сплавлення матеріалів. Ці машини часто використовують для з'єднання рейок, трубопроводів і кабелів.

Основні види:

- Гідравлічні та механічні стикові машини – дозволяють виконувати зварювання під високим тиском, забезпечуючи якісне з'єднання без дефектів.
- Ручні апарати для зварювання дрібних деталей – застосовуються для зварювання дротів або дрібних елементів в електротехнічній промисловості.



Рисунок 1.3 – Машина контактного стикового зварювання

4. Машини для проектного зварювання

Проектне зварювання дозволяє створювати з'єднання в кількох точках одночасно. В таких машинах струм подається через спеціальні виступи (проекти) на одній із деталей, що з'єднуються. Це корисно для виробництва, де необхідно зварювати кілька точок одночасно, наприклад, у виготовленні радіаторів.

Основні види:

- Машини з рухомими електродами – забезпечують можливість зварювання у важкодоступних місцях. Такі пристрої дозволяють переміщати електроди, щоб вони досягали потрібних ділянок на деталях, що зварюються. Їх часто використовують у виробництві складних конструкцій, наприклад, у автомобільній промисловості.
- Машини з комп'ютерним керуванням – сучасні установки, які дозволяють програмувати процес зварювання з високою точністю. Вони забезпечують стабільність параметрів зварювання (струму, часу, тиску) для кожної точки, що є критично важливим для складних технологічних операцій.



Рисунок 1.4 – Комплект для зварювання

1.2 Додаткове обладнання для контактного зварювання

Додаткове обладнання для контактного зварювання відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності, безпеки та стабільної роботи основної зварювальної системи. Крім основних зварювальних машин, таких як точкові, шовні та стикові зварювальні машини, системи контактного зварювання мають додаткове обладнання для підвищення якості зварювання і продовження терміну служби обладнання. Розглянемо ці компоненти докладніше.

1. Зварювальні трансформатори

Трансформатори є важливим елементом контактного зварювання, оскільки вони перетворюють вхідну напругу мережі в струм, необхідний для зварювання. Високий струм низької напруги необхідний для досягнення температури плавлення металу в точці контакту.

Типи зварювальних трансформаторів:

- Постійного струму (DC) – забезпечують стабільну передачу струму, що важливо для високоякісного зварювання, особливо при роботі з металами різної товщини.
- Змінного струму (AC) – менш стабільні, проте простіші та дешевші у виготовленні. Використовуються в обладнанні для простих завдань.

Трансформатори дозволяють контролювати тривалість та інтенсивність струму, що подається на електрод, що має важливе значення для забезпечення точності та якості зварного шва. Вони мають захист від перегріву і регулюються для точного контролю потужності залежно від товщини та типу металу.

2. Електроди

Електрод - це елемент, який безпосередньо контактує з металом і пропускає струм. Форма і матеріал електрода визначають ефективність і якість зварювального процесу.

Типи електродів:

- Циліндричні – для точкового зварювання.
- Роликові – для шовного зварювання.
- Профільовані електроди – для спеціалізованих завдань, наприклад, для проєкційного зварювання.

Електроди виготовляються з міді та її сплавів.

Мідь – найбільш поширений матеріал завдяки високій електропровідності і тепловідведенню.

Мідні сплави – для підвищення зносостійкості і збільшення терміну служби електродів (наприклад, хром-мідні або вольфрам-мідні сплави).

Електроди повинні бути термостійкими, щоб витримувати високі температури без деформації. Під час зварювання електрод поступово зношується, тому його необхідно регулярно перевіряти та замінювати.

3. Системи охолодження

Охолодження є важливим елементом підтримки продуктивності зварювального обладнання, особливо при високих навантаженнях. При контактному зварюванні виділяється велика кількість тепла, що може призвести до перегріву електродів і зварювального обладнання.

Типи систем охолодження:

- Водяне охолодження – найпоширеніша система охолодження. Вода циркулює через електроди та інші компоненти для відведення тепла.
- Повітряне охолодження – використовується в менш потужних системах або в тих випадках, коли обладнання не працює на постійних високих навантаженнях.

Системи охолодження допомагають підтримувати стабільну температуру електродів і зварювального обладнання, подовжуючи термін служби обладнання та забезпечуючи стабільну якість зварювання. Охолодження також необхідне для запобігання перегріву і небажаної деформації металу під час зварювання.

4. Пристрої керування та контролю параметрів зварювання

Сучасне зварювальне обладнання оснащено автоматичними системами керування, які можуть точно регулювати такі параметри зварювання, як сила струму, час зварювання і тиск на деталі.

Основні компоненти системи керування та автоматизація:

- Контролери струму – дозволяють регулювати силу струму залежно від типу і товщини металу.
- Таймери – відповідають за тривалість подачі струму і зварювального циклу, що є важливим для отримання надійного з'єднання.
- Сенсори тиску – стежать за силою тиску, що прикладається до деталей під час зварювання, щоб уникнути дефектів або деформацій.
- Програмовані логічні контролери (PLC) дозволяють повністю автоматизувати процес, особливо на великих виробничих лініях.

- Інтерфейси для дистанційного керування – забезпечують можливість контролю та налаштування обладнання через комп'ютер або інші пристрої.

Система автоматизації дозволяє автоматизувати процес зварювання для різних типів металів і налаштувань, підвищуючи продуктивність і зменшуючи кількість помилок.

1.3. Методи контактного зварювання, принцип дії, переваги, застосування

Контактне зварювання охоплює кілька різних методів, кожен з яких призначений для специфічних типів з'єднань і різних матеріалів.

Основні методи контактного зварювання:

1. Точкове зварювання

Точкове зварювання - один з найпоширеніших методів контактного зварювання. Застосовується для з'єднання тонколистового металу шляхом створення окремих точок для зварювання. Залежно від положення електрода по відношенню до деталі, що зварюється, точкове зварювання може бути двостороннім і одностороннім.

Багатоточкове контактне зварювання - це тип точкового зварювання, при якому за один цикл зварюються кілька точок. Багатоточкове зварювання працює за принципом одностороннього точкового зварювання. Багатоточкові зварювальні апарати мають від однієї до 100 пар електродів кожен і можуть зварювати від двох до 200 точок одночасно.

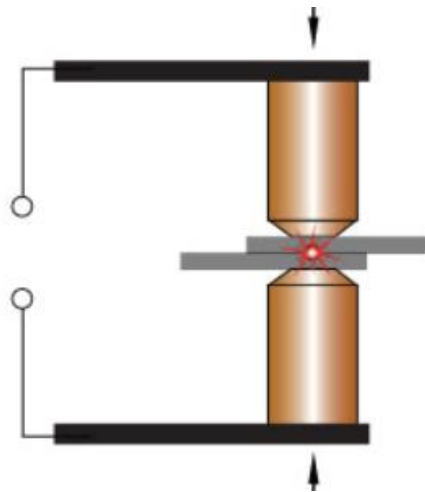


Рисунок 1.5 – Точкове зварювання

Дві металеві деталі притискаються між двома електродами. Через електроди пропускають струм високої щільності. Струм проходить через контакт між металами, де метал локально нагрівається і плавиться. Після припинення дії струму під впливом механічного тиску рідкий метал з'єднує деталі, утворюючи міцний зварний шов. Перевагами такого методу є швидкість, надійність, можливість зварювати надтонкі деталі та можливість повної автоматизації. Також цей метод не потребує висококваліфікованого персоналу.

Точкове зварювання часто використовується в автомобільній промисловості, наприклад, для з'єднання деталей кузова автомобіля та побутових приладів (холодильників, пральних машин). Воно також використовується в галузях, де важливо швидко і надійно з'єднати тонкі листи матеріалу, наприклад, у виробництві металевих меблів та електронного обладнання.

2. Шовне зварювання

Шовне зварювання є різновидом точкового зварювання, але відрізняється тим, що точки зварювання накладаються одна на одну, утворюючи безперервний герметичний шов. Для цього використовують обертові роликові електроди.

Основні способи шовного зварювання:

Безперервне шовне зварювання.

Зварювання безперервним швом виконується шляхом притискання ролика до деталі, що зварюється, з постійним тиском і подачею постійного зварювального струму протягом усього процесу зварювання. Недоліками цього способу є підвищені вимоги до підготовки поверхні, однорідності, товщини і хімічного складу металу деталі, що зварюється.

Переривчасте зварювання з безперервним обертанням роликів.

Також здійснюється з постійним зусиллям стиснення, зварювальний струм подається циклічно, а зварювальний шов формується з точками зварювання, що перекриваються. Якість шва покращується.

Переривчасте зварювання з періодичним обертанням роликів.

При цьому способі коло замикається у момент зупинки роликів (крокове зварювання). Цей спосіб дає зварні шви найвищої якості, оскільки точка зварювання формується під статичним тиском. Однак машини для цього способу зварювання складніші і менш продуктивні.

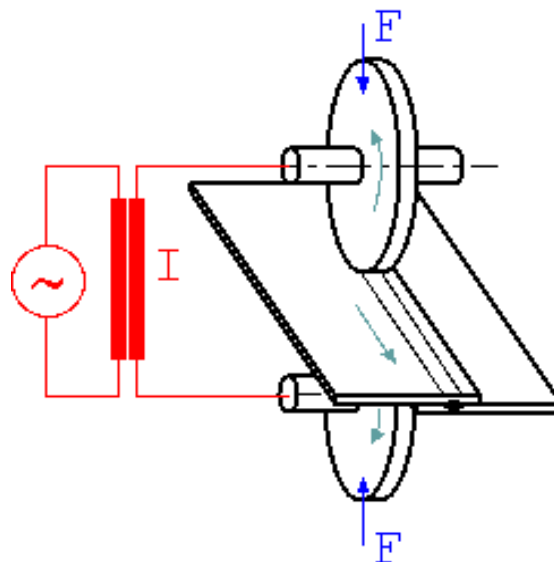


Рисунок 1.6 – Схема шовного контактної зварювання

Металеву деталь затискають між роликівими електродами. Під час подачі струму ролики поступово переміщуються вздовж лінії зварювання, утворюючи зварювальні точки. Точки зварювання накладаються одна на одну, утворюючи міцний, герметичний шов. Зварювальний струм нагріває і плавить метал у місці з'єднанні, як і при точковому зварюванні.

Процес шовного зварювання здійснюється за допомогою спеціальних зварювальних машин. Товщина листа, що зварюється, становить від 0,2 до 3 мм. Шовне зварювання здебільшого виконується із зовнішнім водяним охолодженням, що зменшує перегрів зовнішнього шару металу. До переваг такого методу можна віднести забезпечення міцного і герметичного шва.

Шовне зварювання використовується скрізь, де потрібні герметичні з'єднання, наприклад, в авіабудуванні, виробництві паливних баків, металевих і рідинних контейнерів, радіаторів та іншого теплотехнічного обладнання.

3. Стикове зварювання

Стикове зварювання використовується для з'єднання кінців двох металевих деталей по всій довжині стику. Цим методом з'єднують прутки, рейки, труби та дрiт. Цей метод поділяють на зварювання оплавленням і зварювання опором.

При зварюванні опором торцеві поверхні заготовок обробляються, заготовки притискаються одна до одної і подається струм. Після нагрівання металу до пластичного стану в точці контакту збільшується осьова сила. У місці з'єднання відбувається пластична деформація, і з'єднання формується без розплавлення металу. При цьому методі нагрівання деталей великого перерізу не завжди рівномірне по всій поверхні і часто не вдається видалити оксидну плівку в місці з'єднання. Тому контактне стикове зварювання опором використовується тільки для з'єднання деталей невеликого перерізу (до 200-300 мм²): дроту, труб і прутків з низьковуглецевої сталі.

При контактному зварюванні оплавленням вмикається зварювальний трансформатор, і деталі притискаються одна до одної з невеликим зусиллям. Окремі поверхневі контакти миттєво оплавляються і утворюються нові контакти, які також оплавляються.

Під впливом електродинамічних сил рідкий шар металу викидається зі з'єднання разом з оксидами і забрудненнями з розплавленого контакту. Поверхня поступово оплавляється, після чого відбувається швидке збільшення зусилля стиску - відбувається осадка. В той же час, протягом 0,1 с через з'єднання продовжує протікати струм. Рідкий метал разом із залишковими окислами, витісняється із зони стику в ґрат — з'єднання утворюється між твердими, але пластичними поверхнями. При зварюванні оплавленням хімічно активна зона металу в з'єднанні захищена інертним газом.

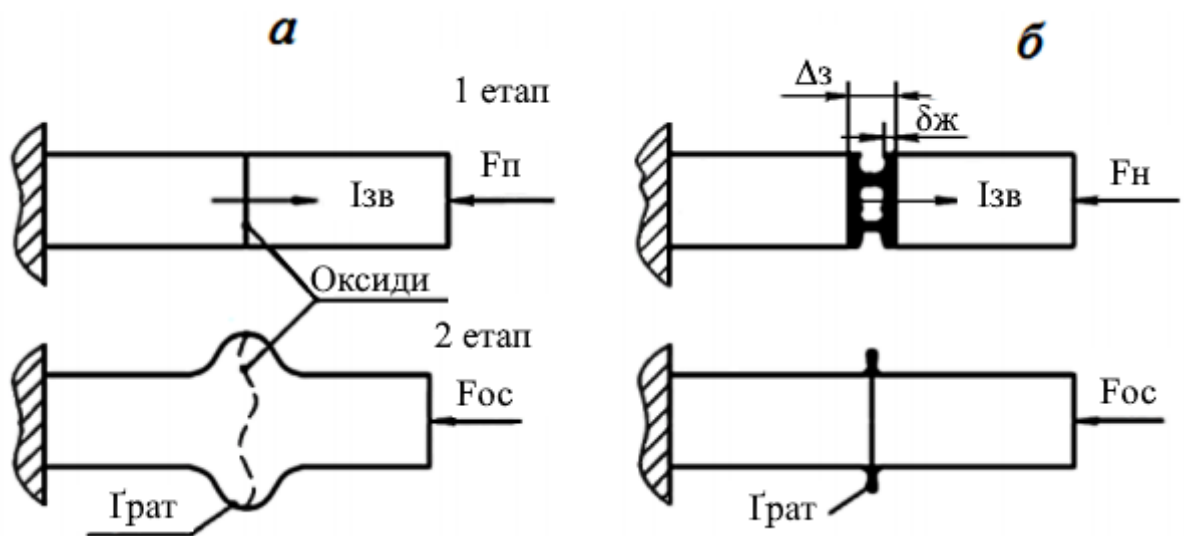


Рисунок 1.7 – Етапи утворення з'єднань при стиковому зварюванні:

а – опором ; б – оплавленням

Стикове зварювання опором і оплавленням відбувається за єдиною схемою, що складається з двох етапів:

- нагріву торців деталей.
- осад (рис. 1.7).

Перший етап:

- При стиковому зварюванні опором (рис. 1.7 а) характер процесу подібний до першого етапу точкового зварювання до моменту розплавлення металу на контактi деталь – деталь: попереднє стиснення силою $F_{\text{п}}$ (початковий тиск), нагрівання поверхні контакту під час подачі зварювального струму, зниження опору пластичній деформації, деформація зони контакту, зниження опору контакту деталь – деталь.
- При стиковому зварюванні оплавленням (рис. 1.7, б) нагрівання зони контакту відбувається в результаті розплавлення і руйнування локальних перемичок, що утворюються, із змиканням контактних поверхонь деталей (дотику мікронерівностей у зазорі Δ_3 – між деталями) з певною швидкістю, аж до утворення шару розплавленого металу товщиною $\delta_{\text{ж}}$ на торцях.

Другий етап як при зварюванні опором, так і зварюванні оплавленням передбачають значну деформацію нагрітих поверхонь внаслідок раптового збільшення сили стискання $F_{\text{ос}}$ поверхонь, що з'єднуються, тобто осад.

Умови, за яких міжатомні зв'язки утворюються на другому етапі в результаті пластичної деформації під час осадку при зварюванні опором та зварюванні оплавленням, відрізняються і залежать від стану контактної поверхні.

До переваг стикового зварювання можна віднести точність та міцність з'єднань, високу ефективність, швидке з'єднання, що призведе до економії часу.

Стикове зварювання часто використовується для з'єднання залізничних рейок, трубопроводів, електричних кабелів і проводів. Воно також широко використовується у виробництві металоконструкцій і машинобудуванні.

4. Проекційне зварювання

Проекційне зварювання - це спеціальний метод з'єднання декількох точок одночасно за допомогою виступів («проекцій») на одній з деталей. Зварювання здійснюється шляхом стискання виступів і подачі електричного струму через ці виступи.

Проекційне зварювання відрізняється від інших методів контактного зварювання кількома важливими особливостями:

- Локальне нагрівання. Заздалегідь підготовлені виступи генерують тепло точно в точці контакту, завдяки чому можна зварювати навіть товсті деталі без перегріву всієї конструкції.
- Одночасне зварювання декількох точок. З'єднання декількох точок одночасно значно підвищує продуктивність процесу і скорочує час зварювання.
- Зменшення деформації. Оскільки тепло локалізовано, деформація внаслідок зварювання є меншою, що важливо при роботі з точними деталями.

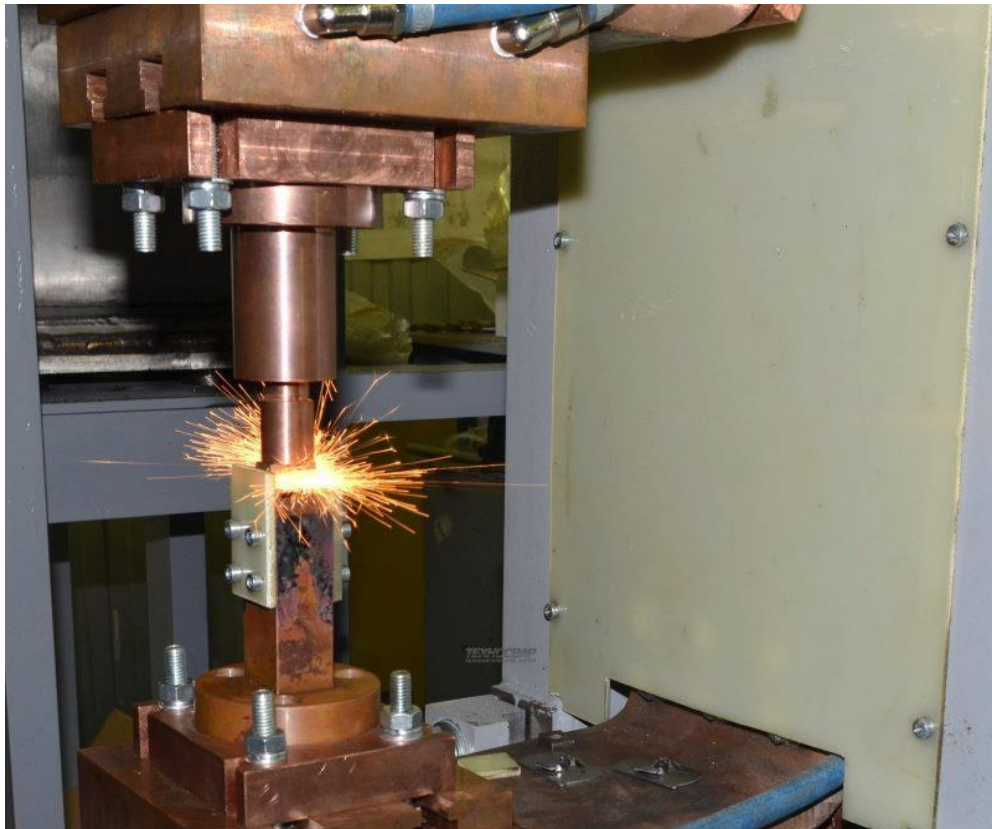


Рисунок 1.8 – Рельєфне (проекційне) зварювання

Одна з деталей має спеціальний виступ (проекцію), по якому пропускається струм. Виступ нагрівається до температури плавлення, утворюючи точку зварювання. Потім металеві частини стискаються і виступи плавляться, утворюючи міцне з'єднання одночасно в декількох точках.

Проекційне зварювання використовується для з'єднання металевих деталей, що мають проекції для зварювання, наприклад, болтів, гайок і кріплень. Його часто використовують у масовому виробництві автомобільних деталей, побутової техніки та електронних компонентів.

Висновок: У ході першого розділу було проведено аналіз машин, що існують для контактного зварювання, розглянуто методи для контактного зварювання, проаналізовано їх переваги, застосування.

Кожен метод контактного зварювання має свої унікальні характеристики, що робить його ефективним для різних галузей промисловості:

- Точкове зварювання підходить для тонколистових металів і масового виробництва.
- Шовне зварювання забезпечує безперервний шов для герметичних конструкцій.
- Стикове зварювання незамінне при з'єднанні труб, рейок і прутків.
- Проекційне зварювання ідеальне для масового з'єднання дрібних металевих елементів.

Особливу увагу слід приділити контактному стиковому зварюванню де важливо врахувати такі параметри як сила струму, час зварювання, зусилля подачі, розміри усадки та деталі. Тому наступний розділ буде присвячений математичному моделюванню та оптимізації цих параметрів, які допоможуть підвищити якість зварювання та ефективність виробництва.

РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПНЕВМО-ЕЛЕКТРОСИСТЕМИ

2.1 Основні етапи моделювання

Математичне моделювання процесу зварювання дозволяє аналізувати і прогнозувати різні аспекти цього складного процесу. Основними цілями математичного моделювання є підвищення якості зварних з'єднань та оптимізація параметрів процесу.

Комп'ютерне моделювання широко використовується для аналізу зварювальних процесів, при цьому розрізняють аналітичні та алгоритмічні підходи до математичного моделювання. У рамках аналітичних моделей вихідні та вхідні параметри описуються за допомогою аналітичних виразів, що дозволяє досліджувати фундаментальні властивості процесу, розуміти його якісну поведінку та формулювати нові гіпотези щодо внутрішньої структури об'єкта. Однак можливості аналітичного підходу обмежуються розвитком відповідних математичних розділів, тому його застосування є доцільним лише для простих моделей і в обмежених діапазонах параметрів.

Алгоритмічні, або комп'ютерні, математичні моделі мають ширше практичне застосування і поділяються на числові та імітаційні. У числовому моделюванні початкові математичні рівняння замінюють на їх кінцеві аналоги. Це досягається дискретизацією, тобто переходом від безперервних функцій до функцій з дискретними значеннями аргументів. Після цього розробляється обчислювальний алгоритм для розв'язання задачі, а отримане наближене рішення дискретної задачі приймається за рішення вихідної математичної моделі.

Математична модель представляє собою аналог об'єкта, який у математичній формі відображає його найважливіші властивості, закономірності та зв'язки між його складовими частинами.

Точність параметрів моделі, визначених чисельним методом, залежить від кількох факторів. По-перше, це похибки самого методу, які виникають через заміну вихідної моделі її дискретним аналогом. По-друге, точність обмежується помилками округлення, які з'являються під час виконання обчислень на комп'ютері через кінцеву точність представлення чисел.

Основні етапи при математичному моделюванні:

1. Побудова моделі. На першому етапі потрібно визначитися з об'єктом дослідження. Об'єктом даного моделювання є машина контактного стикового зварювання чорних металів
2. Розв'язання математичного завдання. Цей етап присвячується розробці алгоритмів та чисельних методів вирішення задачі. Під час моделювання потрібно зробити розрахунок параметрів, які знадобляться для побудови графіків залежності процесу зварювання.
3. Інтерпретація одержаних результатів з математичної моделі. За отриманими графіками визначити яким чином параметри впливають на зварювальний процес.

Математичне моделювання дає можливість визначити режими зварювання, які гарантовано відповідатимуть вимогам до механічних властивостей і структури металу в усіх зонах зварного з'єднання. Це скорочує час на інженерні розрахунки, дозволяє точніше встановлювати параметри зварювання, запобігає помилкам при проектуванні, автоматизує розрахунковий процес і знижує навантаження на інженера-зварювальника. Математичне моделювання особливо корисне, коли проведення великої кількості експериментів є економічно недоцільним або неможливим, дозволяючи мінімізувати витрати виробництва без втрати якості продукції та створювати більш економічні технології.

2.2 Математичне моделювання процесу зварювання

При подачі струму $I_{зв}$ на стрижень з площею поперечного перерізу S , густиною γ , питомою теплоємністю c і середнім питомим опором ρ_T під час $t_{зв}$ кількість теплоти, що виділяється на одиницю довжини стрижня, визначається за такою формулою:

$$Q_1 = \rho_T I_{зв}^2 t_{зв} / S \quad (2.1)$$

Ця теплота витрачається на нагрівання стрижня до температури T_1 , яка описується рівнянням:

$$k_2 Q_1 = S c \gamma T_1 \quad (2.2)$$

де коефіцієнт k_2 враховує втрати на нагрівання електродів (струмопідводів) і в результаті променевипускання (чисельне значення цього коефіцієнта для деталей: з вуглецевих конструкційних сталей - $k_2 \approx 0,75$; з аустенітних сталей - $k_2 \approx 0,9$)

З рівнянь (2.1) і (2.2) можна знайти температуру:

$$T_1(x) = \frac{k_2 \rho_T I_{зв}^2 t_{зв}}{c \gamma S^2} \quad (2.3)$$

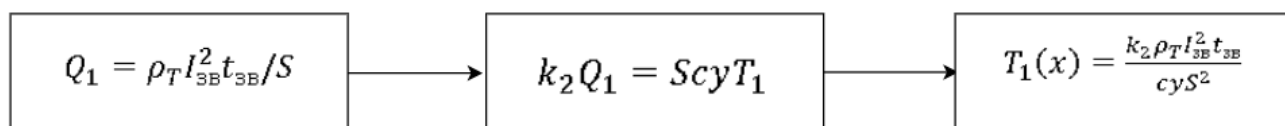


Рисунок 2.1 – Математична модель процесу зварювання

На цьому зображенні показана математична модель процесу контактного стикового зварювання, що складається з трьох основних рівнянь. Модель описує, як струм, що протікає через стрижень, генерує тепло, яке нагріває матеріал до певної температури. Нижче наведено деталі кожного етапу моделі:

На першому етапі визначається кількість тепла, що виділяється на одиницю довжини стрижня під час проходження струму протягом часу. Тепло залежить від питомого опору матеріалу, сили струму, часу зварювання і площі поперечного перерізу стрижня.

Таким чином, для збільшення тепла можна збільшити струм, час або використавши матеріал з більшим питомим опором. Площа поперечного перерізу також може бути зменшена. Регулювання цих параметрів важливе для керування процесом зварювання, оскільки таким чином можна досягти оптимальної температури для якісного зварювання.

Другий етап описує, як тепло, виділене в першому етапі, витрачається на нагрівання стрижня до температури T_1 . Коефіцієнт k_2 враховує теплові втрати, такі як нагрівання електродів і випромінювання. Також враховуються питома теплоємність і густина матеріалу, а також площа поперечного перерізу. Тому для нагрівання стрижня до певної температури необхідна певна кількість тепла, яка визначається матеріалом і розмірами стрижня, а також тепловими втратами. Цей етап дозволяє розрахувати температуру, до якої нагрівається стрижень, і визначити параметри, які необхідно змінити, щоб забезпечити достатню кількість тепла для процесу зварювання.

Третій етап виражає температуру в будь-якій точці стрижня залежно від параметрів процесу зварювання і властивостей матеріалу. Цей етап враховує всі параметри попередніх етапів, такі як кількість тепла, що генерується, теплові втрати і фізичні властивості матеріалу стрижня. З цього етапу можна зробити висновок, що вищі температури можна отримати, збільшивши силу струму і час або вибравши матеріали з високим питомим опором і низькими тепловтратами. Температуру також можна підвищити, зменшивши площу поперечного перерізу. Цей етап важливий для розуміння того, як можна регулювати параметри зварювальної машини для досягнення оптимальної температури для високоякісного зварювання.

Кожне рівняння у цій послідовності відповідає за різний етап перетворення енергії — від виділення тепла до розрахунку температури, необхідної для якісного зварювання.

Для аналізу впливу параметрів на якість з'єднання можна побудувати графіки залежності $t_{зв}$ від S та $I_{зв}$ від S . Використовуючи ці графіки, можна визначити оптимальний зварювальний струм і час зварювання для матеріалів певної площі поперечного перерізу. Це дозволяє уникнути зайвих витрат енергії та зменшити знос обладнання. Для отримання міцного з'єднання контактне зварювання вимагає точного контролю часу та струму. Ці графіки показують, як площа впливає на режим зварювання, що важливо для контролю якості з'єднання. Оскільки різні матеріали мають різні теплові властивості (питомий опір, теплоємність тощо), параметри зварювання можна адаптувати до конкретних матеріалів, проаналізувавши їхні залежності.

Для побудови та обчислення параметрів для цих графіків залежності використаємо рівняння 2.1, 2.2, 2.3.

Для розрахунків приймаємо:

- Площа поперечного перерізу – $S = 7\text{мм}^2 = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$
- Струм через стрижень – $I_{зв} = 1000 \text{ А}$
- Температура – $T_1 = 1300 \text{ }^\circ\text{С}$
- Матеріал – сталь, коефіцієнт $k_2 = 0,75$

Для сталі приймаємо:

- Питомий опір – $\rho_T = 1,68 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
- Питома теплоємність – $c = 500 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{С})$
- Густина – $\gamma = 7850 \text{ кг}/\text{м}^3$

З рівняння 2.3 знайдемо час проходження струму $t_{зв}$:

$$t_{зв} = \frac{T_1 c \gamma S^2}{k_2 \rho_T I_{зв}^2} \quad (2.4)$$

$$t_{зв} = \frac{1300 \cdot 500 \cdot 7850 (7 \cdot 10^{-6})^2}{0,75 \cdot 1,68 \cdot 10^{-7} \cdot 1000^2} = 1,98 \text{ с}$$

З рівняння 2.1 знайдемо кількість теплоти, що виділяється на одиницю довжини стрижня Q_1 :

$$Q_1 = 1,68 \cdot 10^{-7} \cdot 1000^2 \cdot 1,98 / 7 \cdot 10^{-6} = 47520 \text{ Дж}/\text{м}$$

За рівнянням 2.2 проведемо перевірку отриманих результатів:

$$0,75 \cdot 47520 = 35640 \text{ Дж/м} = 7 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 7850 \cdot 1300 = 35717,5 \text{ Дж/м}$$

Як бачимо, з урахуванням допустимої похибки значення приблизно рівні, що підтверджує коректність обчислень.

Для побудови графіка залежності $t_{зв}$ від S скористаємось формулою 2.4

Дані для побудови занесені в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Дані для побудови графіка залежності $t_{зв}$ від S

$t_{зв}, \text{с}$	$S, \text{мм}^2$
0	0
0,09	1,5
0,36	3
0,82	4,5
1,46	6
1,98	7
2,27	7,5
3,28	9
4,46	10,5
5,83	12

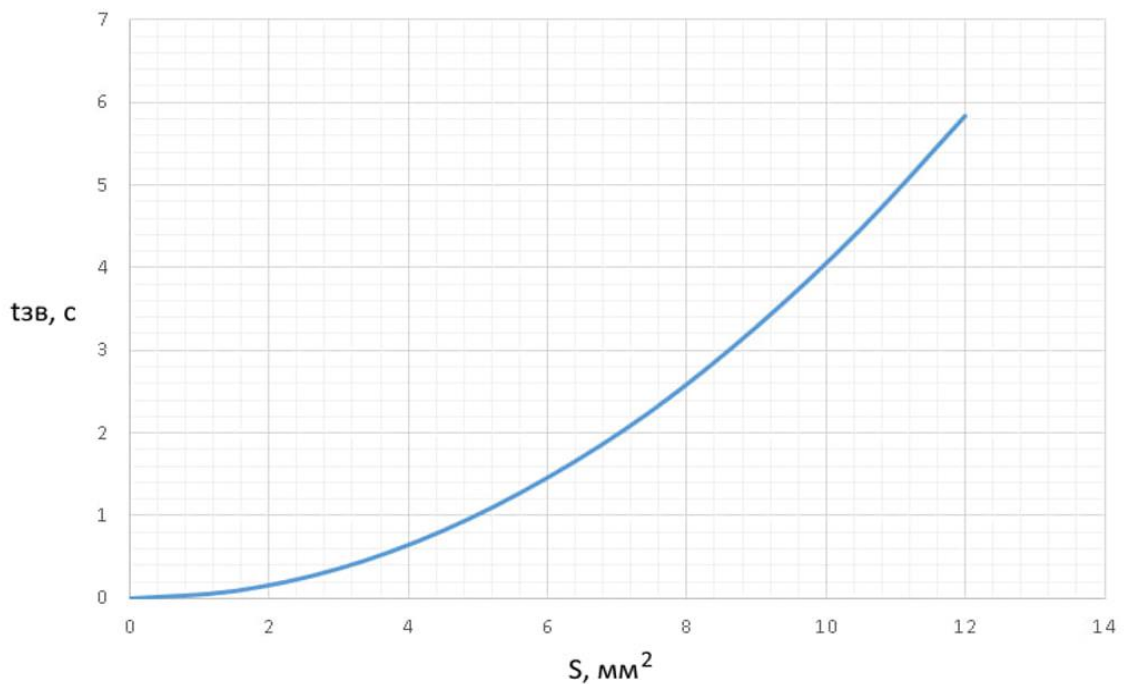


Рисунок 2.2 – Графік залежності $t_{зв}$ від S

На рисунку 2.2 наведено графік залежності часу зварювання $t_{зв}$ від площі поперечного перерізу S для процесу контактного стикового зварювання.

Крива графіка має зростаючу форму і показує нелінійну залежність $t_{зв}$ від S . Відповідно до цієї залежності, час зварювання збільшується зі збільшенням площі поперечного перерізу. Це свідчить про квадратичну залежність, характерну для процесів, які вимагають більше тепла для нагрівання більших об'ємів матеріалу.

Зі збільшенням площі поперечного перерізу зварюваної деталі зростає і обсяг матеріалу, що підлягає нагріванню. Для досягнення потрібної температури на більшому об'ємі потрібно більше часу, тому час зварювання зростає разом з площею поперечного перерізу. Це важливо враховувати при налаштуванні зварювальної машини, адже для більш товстих матеріалів потрібен довший час зварювання. Цей графік дозволяє оператору знайти оптимальний час зварювання для різних поперечних перерізів. Занадто короткий час зварювання призводить до недостатнього нагрівання, тоді як занадто довгий час зварювання призводить до перегріву або розплавлення матеріалу.

Таким чином, цей графік допомагає зрозуміти, як слід змінювати час зварювання залежно від поперечного перерізу деталі для досягнення необхідних властивостей з'єднання.

З рівняння 2.1 знайдемо струм, що протікає через стрижень $I_{зв}$:

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{Q_1 S}{\rho_T t_{зв}}} \quad (2.5)$$

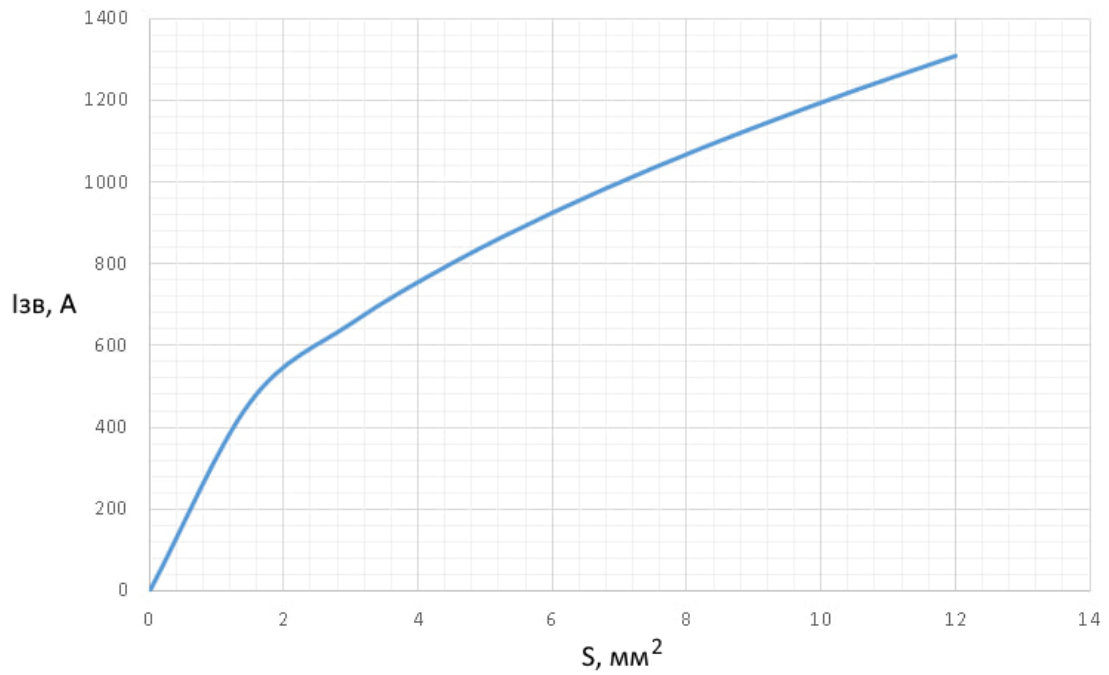
$$I_{зв} = \sqrt{\frac{47520 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{1,68 \cdot 10^{-7} \cdot 1,98}} = 1000 \text{ A}$$

Для побудови графіка залежності $I_{зв}$ від S скористаємось формулою 2.5

Дані для побудови занесені в таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Дані для побудови графіка залежності $I_{зв}$ від S

$I_{зв}, A$	$S, мм^2$
0	0
462,9	1,5
654,6	3
801,8	4,5
925,8	6
1000	7
1035,1	7,5
1133,9	9
1224,7	10,5
1309,3	12

Рисунок 2.3 – Графік залежності $I_{зв}$ від S

На рисунку 2.3 наведено графік залежності струму зварювання $I_{зв}$ від площі поперечного перерізу S для процесу контактної стикового зварювання.

Крива графіка показує зростаючу залежність струму $I_{зв}$ від площі поперечного перерізу S . Спочатку (коли площа поперечного перерізу мала) збільшення струму відбувається швидко, але потім крива вирівнюється, вказуючи на те, що швидкість збільшення зварювального струму зменшується зі збільшенням площі поперечного перерізу. Це характерно для квадратичної залежності струму від площі поперечного перерізу, яка випливає з рівняння теплової потужності (2.6).

$$Q = I^2 R t \quad (2.6)$$

Рівняння теплової потужності описує кількість теплоти, що виділяється при проходженні струму через провідник. Це рівняння відоме як закон Джоуля-Ленца. Для зварювальної машини це рівняння можна переписати як питому теплову потужність з урахуванням площі поперечного перерізу і питомого опору матеріалу (2.1). Це рівняння описує процес розподілу тепла в стрижні під впливом зварювального струму і допомагає визначити залежність теплової енергії від струму, часу і площі поперечного перерізу. Дане рівняння дає змогу передбачити, скільки тепла буде виділено в певному матеріалі за певний час, що корисно для контролю температури під час зварювання.

Для забезпечення достатньої кількості тепла при зварюванні більших деталей (з великим поперечним перерізом) потрібен більший зварювальний струм. Зі збільшенням площі перерізу обсяг матеріалу зростає і для його нагрівання до необхідної температури потрібно більше енергії, що досягається за рахунок збільшення струму. Цей графік дає змогу налаштувати параметри зварювальної машини для різних розмірів деталей. Оператор може використовувати ці дані для вибору оптимального зварювального струму відповідно до розміру деталі для забезпечення необхідної якості зварювання. Занадто малий струм призводить до недостатнього нагрівання, занадто великий – до перегріву та зниження міцності зварного шва.

2.3 Розрахунок та оптимізація пневмо-електросистеми

Процес стикового зварювання передбачає використання електричного струму і механічного стиснення зварюваних деталей. Для цього необхідно забезпечити синхронну роботу електросистеми та пневматичного приводу.

Для забезпечення прямолінійного поступального руху застосовуємо силові циліндри одnobічної дії, з пружинним поверненням.

Дані для розрахунку:

Системний тиск $q_{\text{пнев}} = 0,8$ МПа

Максимальне зусилля подачі $P = 1200$ Н (можливо використати ричаг)

Максимальна швидкість подачі $V = 10$ мм/с

Хід циліндра подачі $L = 15$ мм

Необхідна площа пневмоциліндра подачі:

$$F_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{max}}}{q_{\text{пнев}}} \quad (2.7)$$

$$F_{\text{ц}} = \frac{1200}{0,8} = 1500 \text{ мм}^2$$

Знаючи площу можна знайти діаметр пневмоциліндра:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ц}}}{\pi}} \quad (2.8)$$

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1500}{3,14}} = 43,7 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр пневмоциліндра подачі заготовки $D_{\text{ц}} = 50$ мм, діаметр штока $d_{\text{ш}} = 20$ мм

Діаметр пневмоциліндрів притискання прийемо на ступінь більше $D_{\text{ц}2} = 75$ мм

Для вибору компресора необхідно знати витрата стисненого повітря, витрата підраховується по формулі:

Для пневмоциліндра подачі заготовки:

$$Q_{ц.подачі} = \frac{\pi \cdot V(D_{ц2}^2 - d_{ш}^2)}{4} \quad (2.9)$$

Для пневмоциліндрів притискання:

$$Q_{ц.притис.} = \frac{\pi \cdot V(D_{ц2}^2 - d_{ш}^2)}{4} \quad (2.10)$$

$$Q_{ц.подачі} = \frac{3,14 \cdot 0,01(0,05^2 - 0,02^2)}{4} = 0,0000165 \text{ м}^3/\text{с} = 0,98 \text{ л/хв}$$

$$Q_{ц.притис.} = \frac{3,14 \cdot 0,01(0,075^2 - 0,02^2)}{4} = 0,000041 \text{ м}^3/\text{с} = 2,46 \text{ л/хв}$$

Сумарна витрата повітря:

$$\Sigma Q = Q_{ц.подачі} + 2Q_{ц.притис.} \quad (2.11)$$

$$\Sigma Q = 0,98 + 2 \cdot 2,46 = 5,9 \text{ л/хв}$$

Прийmemo час циклу $t_{ц} = 10$ с. В хвилину орієнтовно буде 3-4 цикли, відповідно подача компресора, з урахуванням використання ресивера:

$$Q_{компр} = \frac{\Sigma Q \cdot 40}{60} \quad (2.12)$$

$$Q_{компр} = \frac{5,9 \cdot 40}{60} = 3,9 \text{ л/хв}$$

Тоді для проєктування приймаємо дані, які наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Дані для проєктування

1	Діаметр циліндра подачі	$D_{ц}/d_{ш}$	50/20 мм
2	Діаметр циліндра притискання	$D_{ц2}/d_{ш}$	75/20 мм
3	Витрати повітря	$Q_{сист}$	5,9 л/хв
4	Подача компресора з ресивером	$Q_{компр}$	3,9 л/хв

Зусилля стиснення і подачі, що забезпечуються пневматичним циліндром, визначають якість зварного з'єднання. Недостатня або надмірна сила може призвести до таких дефектів, як неповне зварювання та пошкодження матеріалу. В ході розрахунків були обрані оптимальні діаметри циліндрів (50 мм і 75 мм), які забезпечують необхідні зусилля.

Розрахунок витрат повітря дозволяє обрати компресор, який забезпечує безперервну роботу системи з мінімальними втратами енергії. Оптимальна витрата компресора, що становить 3,9 л/хв, дозволяє досягти продуктивності без перевантаження обладнання. Завдяки вибору відповідного компресора та циліндрів забезпечується стабільний робочий цикл системи, що дозволяє виконувати 3-4 цикли зварювання за хвилину. Це підвищує продуктивність і зменшує енергоспоживання.

Від розрахунків пневмо-електросистеми для машини контактного стикового зварювання залежить якість зварного шва, ефективність та безпека роботи обладнання, зниження витрат на експлуатацію та технічне обслуговування, які є важливими для промислового застосування.

Компресор Dnipro-M AC-20 має характеристики, які роблять його цілком придатним для системи контактного стикового зварювання. Він забезпечує максимальний тиск у 8 бар (0,8 МПа) і продуктивність на виході близько 140 л/хв. Таким чином, компресор з легкістю забезпечить роботу пневматичної системи з урахуванням витрат повітря, необхідних для зварювання. Крім того, компресор має 20-літровий ресивер для зберігання стисненого повітря, що зменшує частоту ввімкнення компресора та збільшує його довговічність. Такий обсяг ресивера також відповідає вимогам для циклів роботи з системою. Компресор також відзначається компактними розмірами та відносно невеликою вагою, що робить його зручним для транспортування та встановлення навіть у невеликих майстернях або мобільних зварювальних системах.



Рисунок – 2.4 Компресор Dnipro-M AC-20

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики компресора Dnipro-M AC-20

Об'єм ресивера	20 л
Продуктивність на вході	140 л/хв
Продуктивність на виході	101 л/хв
Потужність	1100 Вт
Робочий тиск	8 Бар
Напруга мережі	230 В
Частота мережі	50 Гц
Вага	18,5 кг
Час закачування, 0 – 8 Бар	126 с
Клас захисту	IP 20

Для оцінки ефективності, оптимізації параметрів та забезпеченні якості зварного шва слід побудувати основні залежності, а саме:

- 1) Залежність зусилля подачі P від діаметру деталі D
- 2) Залежність усадки від діаметру деталі D
- 3) Залежність струму I від діаметру деталі D

Залежність зусилля подачі P від діаметру деталі D визначає, як змінюється сила подачі залежно від розміру деталі. Це дозволяє оптимально налаштувати систему для використання різних діаметрів, щоб забезпечити необхідне зусилля для деталей будь-якого діаметру в межах робочого діапазону. Ця залежність вказує на те, що зусилля подачі збільшується зі збільшенням діаметра, що забезпечує належне притискання деталей. Це пов'язано зі збільшенням площі контакту між деталями.

Залежність усадки від діаметру деталі D оцінює, як змінюється величина усадки з підвищенням діаметра. Залежність допомагає визначити оптимальний режим зварювання для забезпечення стабільної якості зварювання незалежно від розміру деталі. Зварювання деталей більшого діаметру зазвичай вимагає більшої усадки, так як маса матеріалу більша, що впливає на теплові і механічні процеси.

Залежність струму I від діаметру деталі D визначає, як змінюється струм, необхідний для зварювання деталей різного діаметру, забезпечуючи ефективне розплавлення деталей різного розміру при збереженні якості зварних з'єднань. Ця залежність дозволяє визначити оптимальні параметри струму для кожного розміру деталі. Зі збільшенням діаметра деталі потрібен більший струм, щоб забезпечити достатнє нагрівання та плавлення матеріалу.

Для побудови цих залежностей скористаємося таблицею 2.5

Таблиця 2.5 – Режими стикового зварювання опором стрижнів із вуглецевої сталі

Площа поперечного перерізу, мм ²	Установча довжина, мм	Тиск усадки, кгс/мм ²	Густина струму, А/мм ²	Тривалість струму, с	Припуск на усадку, мм
10	6	2 – 4	250	0,3	2
25	8	2 – 4	200	0,6	2,5
50	10	1 – 3	160	0,8	2,7
100	12	1 – 3	140	1	3
250	16	1 – 3	100	1,5	4
500	24	1 – 2	60	2,5	6

Примітка: 1. Припуск на усадку під струмом становить 60 –70% загального припуску.

2. Установча довжина дана на обидві деталі.

Таблиця надає оптимальні параметри для стикового зварювання стрижнів із вуглецевої сталі методом опору. Вона містить дані для різних розмірів поперечного перерізу деталей, а також дає змогу проаналізувати, як змінюються режими зварювання залежно від цієї площі.

Тиск зменшується зі збільшенням площі поперечного перерізу. Це пов'язано з необхідністю уникнути надмірної деформації великих деталей при стисненні. Густина струму зменшується для деталей з великим поперечним перерізом. Це пов'язано з тим, що більша площа контакту вимагає меншої густини струму для досягнення оптимального нагріву. Більші деталі вимагають більш тривалих циклів зварювання, які забезпечують достатній нагрів і плавлення металу в місцях з'єднання. Зі збільшенням розміру деталі збільшується і припуск, що дозволяє компенсувати усадку та забезпечити необхідний контакт матеріалу в місці зварювання.

Оптимальні параметри розраховані для стрижнів із простими формами. Якщо форма деталі складна або поверхня контакту нерівна, можливе відхилення від стандартних параметрів. У такому разі може знадобитися попередня обробка контактної поверхні або використання спеціальних електродів для рівномірного розподілу струму. Таблиця дозволяє підібрати режими, які гарантують міцність і герметичність з'єднань. Правильний підбір параметрів знижує ризик до зносу обладнання, а також надає можливість швидко налаштувати зварювальну машину для різних розмірів деталей, що робить процес більш універсальним.

Для побудови залежності зусилля подачі P від діаметру деталі D скористаємось площею поперечного перерізу та тиском усадки

Зробимо потрібні перетворення для побудови:

$$P = p \cdot S \quad (2.13)$$

де P – зусилля подачі, Н

p – Тиск усадки, кгс/мм²

S – Площа поперечного перерізу, мм²

$$P = 4 \cdot 7 = 28 \text{ кгс} = 28 \cdot 9,81 = 274,7 \text{ Н}$$

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (2.14)$$

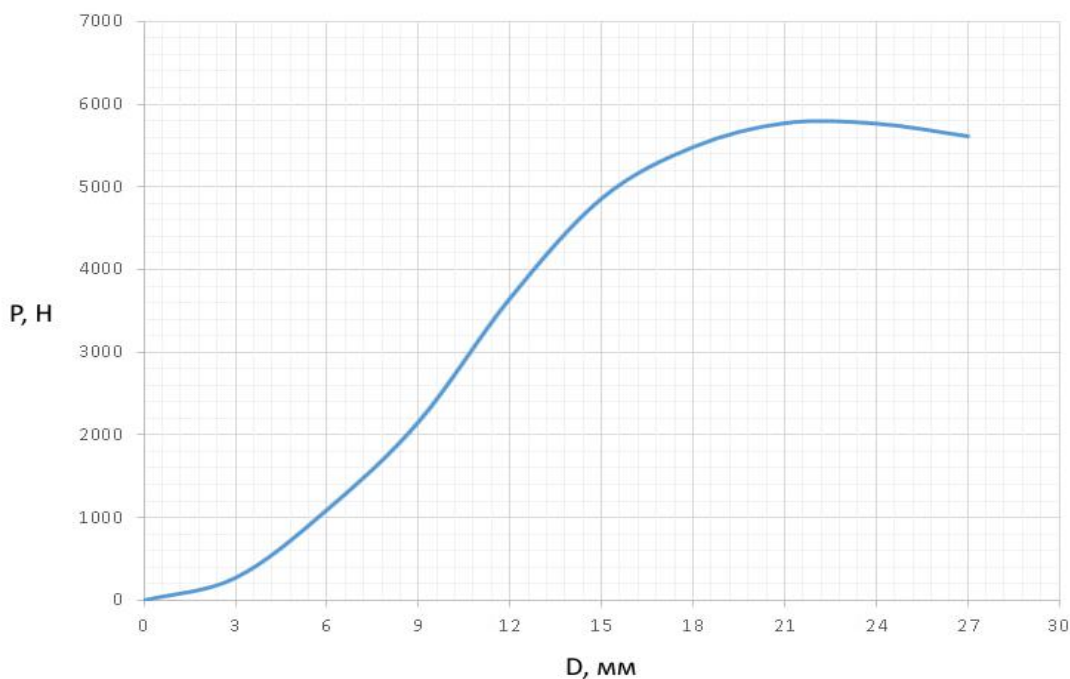
де D – діаметр деталі, мм

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 7}{3,14}} = 3 \text{ мм}$$

Дані для побудови занесені в таблицю 2.6

Таблиця 2.6 – Дані для побудови графіка залежності P від D

$P, \text{Н}$	$p, \text{кгс/мм}^2$	$D, \text{мм}$
0	0	0
274,7	4	3
1098,7	4	6
2163,1	3,5	9
3658,1	3	12
4861,8	2,8	15
5481,8	2,2	18
5770,2	1,7	21
5763,3	1,3	24
5611	1	27

Рисунок 2.5 – Графік залежності P від D

На рисунку 2.5 наведено графік залежності зусилля подачі P від діаметру деталі D для процесу контактної стикового зварювання. Слід зазначити, що зусилля подачі залежить не тільки від діаметру деталі, а також від тиску усадки. Графік зусилля подачі може бути як поступово зростаючим (якщо приймати максимальні значення тиску усадки) так і поступово спадати (якщо приймати мінімальні значення тиску усадки).

Для аналізу приймаємо графік на рисунку 2.5, який було побудовано по даним таблиці 2.6.

Графік має вигляд нелінійної залежності, яка включає в себе початкове різке збільшення зусилля зі збільшенням діаметра, після чого зростання поступово сповільнюється, а графік переходить у фазу стабілізації. Це свідчить про досягнення оптимального рівня, необхідного для роботи системи при великих діаметрах деталей. Така залежність пояснюється особливостями процесу контактного зварювання. На початковому етапі збільшення діаметра деталі вимагає збільшення зусилля для забезпечення щільного контакту поверхні. Однак після досягнення певного рівня механічного опору матеріалу подальше збільшення діаметра має незначний вплив на зусилля.

Графік дозволяє визначити необхідне зусилля подачі в залежності від розміру деталі, що забезпечує ефективну роботу машини. Це допомагає оптимізувати процес зварювання, запобігаючи надмірному тиску, який може деформувати деталь. Для оператора цей графік важливий при налаштуванні обладнання для різних розмірів виробів.

Зміна зусилля може також бути пов'язана з тепловими характеристиками матеріалу. У деталях більшого діаметра тепло більш рівномірно розподіляється по всій площі, що знижує ризик локальних дефектів (наприклад, непрогріву). Це також пояснює, чому значне збільшення зусилля на великих діаметрах не приносить додаткової користі.

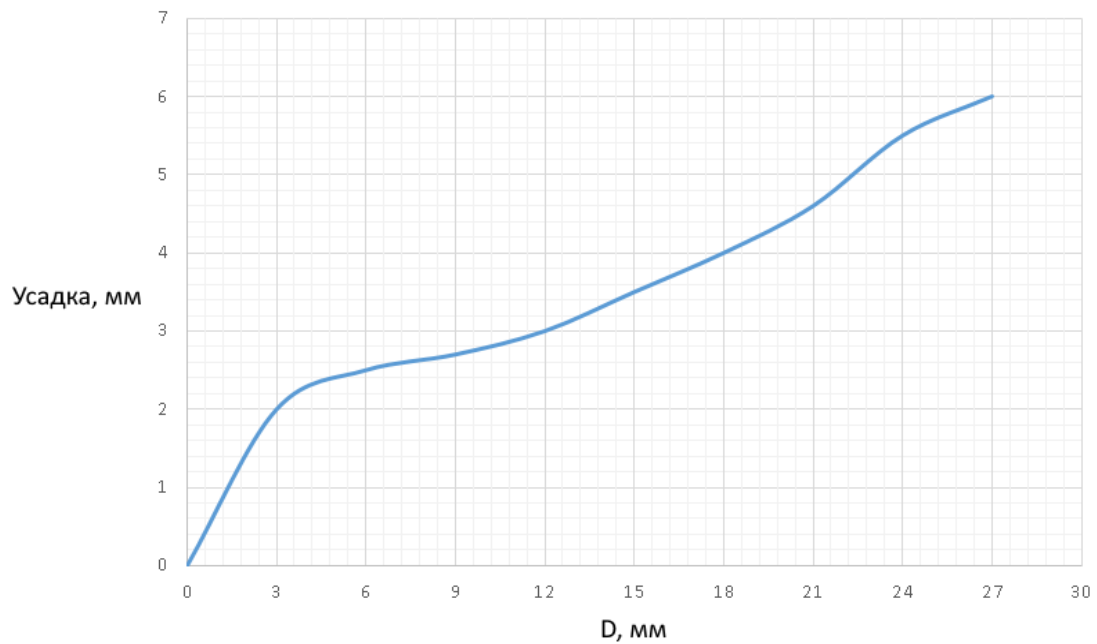
Для побудови залежності скористаємось площею поперечного перерізу та припуском на усадку.

Потрібні перетворення для побудови було проведено по 2.14

Дані для побудови занесені в таблицю 2.7

Таблиця 2.7 – Дані для побудови графіка залежності усадки від D

усадка, мм	D , мм
0	0
2	3
2,5	6
2,7	9
3	12
3,5	15
4	18
4,6	21
5,5	24
6	27

Рисунок 2.6 – Графік залежності усадки від D

На рисунку 2.6 наведено графік залежності усадки від D для процесу контактної стикового зварювання.

Графік демонструє зростаючу залежність усадки від діаметра деталі. У початковій частині (при малих значеннях діаметра) крива має крутий підйом, що свідчить про значну зміну усадки при невеликих змінах діаметра. Після цього залежність стає менш крутою, але залишається зростаючою. Усадка є ключовим параметром, що характеризує деформацію металу під дією стискаючих зусиль і нагріву в процесі контактного стикового зварювання. При збільшенні діаметра D збільшується обсяг металу, що зварюється, тому необхідна більша усадка для досягнення якісного з'єднання.

Усадка — це зменшення розмірів або об'єму матеріалу під час його охолодження, стиснення або після зняття навантаження. У процесі зварювання усадка відбувається через охолодження розплавленого металу, що призводить до зміни його об'єму. Це є природною реакцією матеріалу на зміну температури або зовнішнього впливу. У процесі зварювання усадка характеризує стиснення металу в зоні зварювання, що забезпечує утворення щільних і міцних з'єднань. Величина усадки залежить від діаметра деталей, матеріалу та режиму зварювання. Усадка забезпечує тісний контакт між деталями та допомагає уникнути порожнин і тріщин.

На величину усадки впливають тип матеріалу (метали з високим коефіцієнтом термічного розширення (наприклад, алюміній) мають більшу усадку), габарити деталі (чим більший діаметр або товщина деталі, тим більше значення усадки), технологічні параметри (сила струму, зусилля подачі і час впливу значно впливають на величину усадки)

Графік дозволяє визначити оптимальні параметри процесу для деталей різного діаметра. Він допомагає оператору встановлювати потрібну величину усадки, щоб уникнути дефектів зварного шва — таких як недостатня міцність або надмірна деформація. Також це сприяє підвищенню точності роботи зварювальної машини.

Для побудови залежності струму I від діаметру деталі D скористаємось площею поперечного перерізу та густиною струму.

Потрібні перетворення для побудови було проведено по 2.14 і 2.15

Дані для побудови занесені в таблицю 2.8

$$I = J \cdot S \quad (2.15)$$

де I – сила струму, кА

J – густина струму, А/мм²

S – площа поперечного перерізу, мм²

$$I = 280 \cdot 7 = 1960 \text{ А} = 1,96 \text{ кА}$$

Таблиця 2.8 – Дані для побудови графіка залежності струму I від діаметру деталі D

$I, \text{кА}$	$D, \text{мм}$
0	0
1,96	3
5,6	6
9,76	9
15,82	12
21,24	15
25,4	18
29,41	21
31,19	24
32,6	27

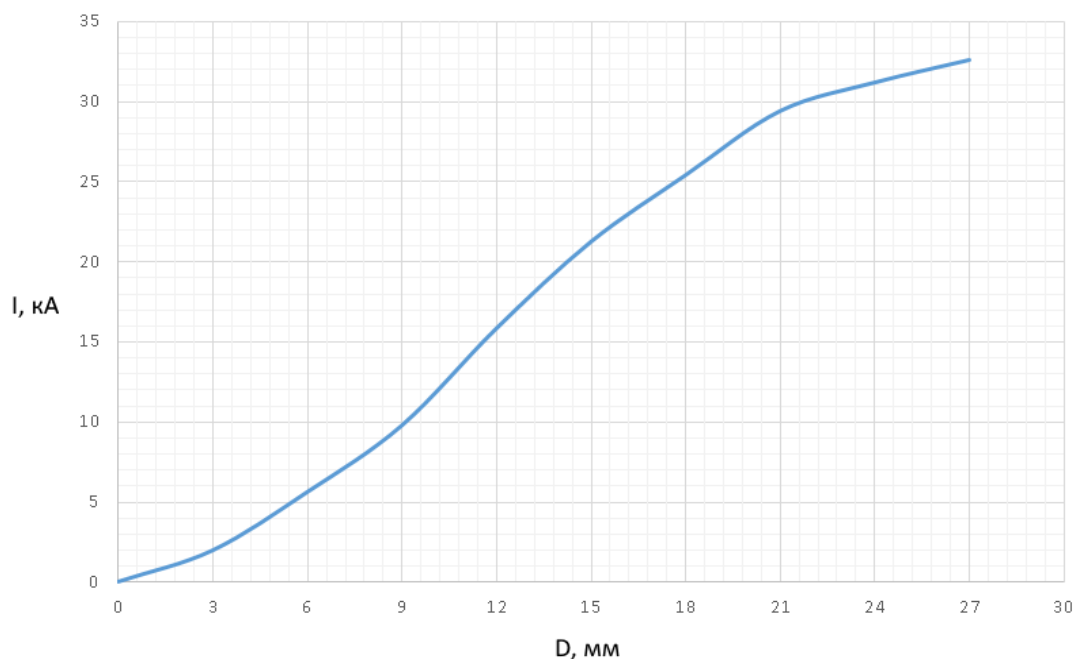


Рисунок 2.7 – Графік залежності струму I від діаметру деталі D

На рисунку 2.7 наведено графік залежності струму I від діаметру деталі D процесу контактного стикового зварювання.

Графік демонструє монотонно зростаючу залежність зварювального струму від діаметра деталі. Зі збільшенням діаметра зварювальний струм значно зростає. Крива має плавний характер зростання, а швидкість росту струму вище при великих значеннях діаметра. Зварювальний струм необхідний для створення необхідного теплового імпульсу в процесі контактного стикового зварювання. Діаметр деталі впливає на поперечну площу поверхні, що зварюється і визначає кількість матеріалу, що вимагає нагріву. Чим більший діаметр деталі, тим більша площа контакту і більший обсяг матеріалу, який вимагає енергії для розплавлення і створення міцного з'єднання. Це пояснює збільшення сили струму зі збільшенням діаметра.

Графік допомагає налаштувати зварювальне обладнання залежно від розміру деталей. Він дозволяє оператору обирати оптимальний струм для кожного діаметра, щоб забезпечити якісне зварювання. Недостатній струм може призвести до незадовільного проплавлення, а надмірний струм — до перегріву, що може знизити міцність з'єднання або викликати дефекти шва.

2.4 Принцип роботи пневмо-електросистеми

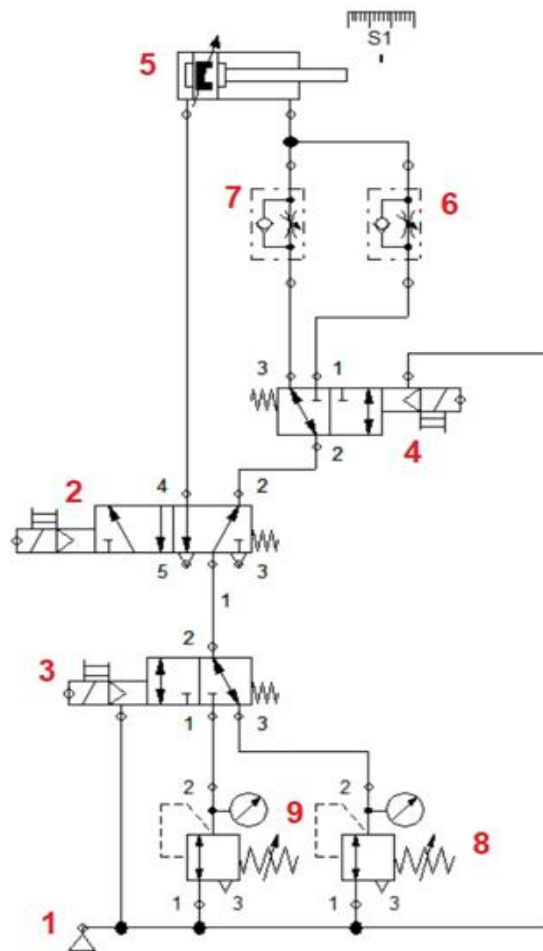


Рисунок 2.8 – Пневмо-електросистема зварювальної машини

На рисунку 2.8 наведено пневмо-електросистема зварювальної машини процесу контактного стикового зварювання.

Вона складається з:

- 1 – Подача стисненого повітря від компресора
- 2, 3, 4 – Розподільники
- 5 – Пневмоциліндр подачі деталі
- 6, 7 – Дроселі зі зворотнім клапаном
- 8, 9 – Регулятори тиску

Подача стисненого повітря від компресора подає стиснене повітря від компресора до всієї системи. Розподільники відповідають за розподіл повітря між порожнинами пневмоциліндрів. Здійснюють перемикання режимів роботи: подача, зварювання та повернення до початкового положення. Пневмоциліндр подачі деталі використовується для переміщення штока, який забезпечує механічну подачу та притискання заготовок під час зварювання. Дроселі зі зворотнім клапаном регулюють швидкість руху пневмоциліндра в різних режимах роботи (подача, зварювання). Регулятори тиску регулюють зусилля подачі та притискання деталі.

Стиснене повітря подається по трубопроводу (1), через регулятор (8), дросель (7) і розподільники (3, 2, 4) в штокову порожнину пневмоциліндра (5), утримуючи шток у схованому положенні. За командою «Подача» електромагніт розподільника (2) перенаправляє потік повітря в поршневу порожнину пневмоциліндра. Шток починає рух вперед, здійснюючи подачу заготовки для нагріву. Зусилля подачі регулюється регулятором (8), а швидкість — дроселем (7). Після витримки часу $t_{\text{розігрів}}$ подається команда «Зварювання». Активуються електромагніти розподільників (3) та (4). Збільшується зусилля притискання заготовок, яке регулюється регулятором (9) і дроселем (6). Це дозволяє провести стикове зварювання. Після витримки часу $t_{\text{зварювання}}$ електромагніти вимикаються, а пневмоциліндр (5) повертається в початкове положення, шток рухається назад.

Висновок: У ході другого розділу було проведено математичне моделювання, розрахунок та оптимізація пневмо-електросистеми. У ході математичного моделювання було побудовано математичну модель контактного стикового зварювання, яка відображає основні етапи зварювання, а також побудовані основні графіки залежності, які відображають, як той чи інший параметр впливає на процес зварювання. За розрахунками та побудови залежностей можна підібрати оптимальні параметри такі як час зварювання, струм, зусилля, розміри усадки та деталі, що допоможе зменшити ризик браку деталі, а також покращити якість зварювання.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИНИ

3.1 Основні етапи проектування

Розробка силової електричної схеми для машини контактного стикового зварювання чорних металів потребує врахування кількох ключових аспектів, зокрема енергетичних параметрів, принципу роботи, захисту та системи керування. Нижче наведено основні етапи проектування такої схеми:

1. Вибір джерела живлення.

Основними вимогами до джерела живлення є висока потужність, низька напруга вторинного кола, регулювання вихідних параметрів, стійкість до перевантажень та високий коефіцієнт корисної дії (ККД).

Контактне стикове зварювання вимагає високих струмів для розплавлення металу. Потужність трансформатора повинна забезпечувати потреби навіть при пікових навантаженнях. Зварювання вимагає низької напруги (5-50 В) для забезпечення безпеки та зменшення теплових втрат. Регулювання параметрів повинно забезпечити гнучке налаштування струму та напруги відповідно до типу металу та його товщини. Джерело живлення повинно бути надійним і витримувати короткочасні пікові струми, а високе ККД служить для мінімізації втрат.

До типів джерел живлення для зварювальних машин можна віднести:

а) Зварювальні трансформатори

Це найпоширеніший варіант у контактному стиковому зварюванні. Трансформатори забезпечують низьку напругу та високий струм у вторинному колі. Перевагами трансформаторів є простота конструкції, висока надійність, стійкість до перевантажень. До недоліків можна віднести відсутність точного регулювання струму без додаткового обладнання, а також великі габарити для високої потужності.

б) Інверторні джерела живлення.

Інверторні джерела базуються на перетворенні змінного струму в постійний, а потім високочастотного перетворення в зварювальний струм. Перевагами інверторів є компактність і легкість, точне регулювання параметрів струму, високий ККД. До недоліків можна віднести вищу вартість у порівнянні з трансформаторами, складність в обслуговуванні.

в) Генераторні установки

Це автономні джерела живлення, які використовують дизельні або бензинові двигуни для виробництва електроенергії. Перевагами генераторів є незалежність від стаціонарної електромережі, потужність. До недоліків можна віднести габаритність та необхідність в обслуговуванні двигуна.

Для розрахунку потужності джерела живлення скористаємось рівнянням 3.1

$$P = UI \cos \varphi \quad (3.1)$$

де P – потужність джерела живлення, кВт

U – напруга (зазвичай це 5 – 50 В)

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності (для зварювальних трансформаторів зазвичай 0,8 – 0,9)

$$P = 10 \cdot 1000 \cdot 0,9 = 9000 \text{ Вт} = 9 \text{ кВт}$$

Джерело живлення повинно забезпечувати резерв потужності 20 – 30% для уникнення перевантажень, тобто мінімальна потужність у цьому випадку — 11 кВт.

Регулювати струм та напругу можна за допомогою тиристорних регуляторів, які дозволяють плавно змінювати струм у первинному колі трансформатора, розгалуженням вторинної обмотки, що дає змогу перемикаєти витки обмотки для зміни вихідної напруги, а також інверторами, які забезпечують точне електронне регулювання.

2. Формування зварювального імпульсу

Зварювальний імпульс — це короткочасний електричний струм високої сили, що протікає через зварювальну зону. Його завдання — нагріти метал до пластичного або рідкого стану для створення надійного зварного з'єднання. Для досягнення бажаних результатів потрібно правильно налаштувати силу струму, яка залежить від матеріалу та розмірів заготовки (для чорних металів може досягати кількох тисяч ампер), тривалість імпульсу, що впливає на глибину плавлення. Зазвичай варіюється від кількох мілісекунд до секунд, напругу, що забезпечує необхідний струм через опір зварювальної зони, а також форму імпульсу, яка може бути прямокутною, синусоїдальною або комбінованою.

Зварювальний імпульс формується за декількома принципами:

- а) Застосування трансформаторів.
- б) Застосування тиристорних регуляторів
- в) Застосування конденсаторних систем

Трансформатор перетворює високу напругу первинного кола в низьку напругу вторинного кола. Вторинна обмотка передає струм на зварювальний електрод. Тривалість імпульсу визначається контролером. Тиристор встановлюється в первинному колі трансформатора для регулювання напруги шляхом зміни фази подачі струму, а також для зміни потужності імпульсу в режимі реального часу. У конденсаторних зварювальних машинах енергія накопичується в конденсаторах. Розряд відбувається через зварювальну зону, створюючи дуже короткий, але потужний імпульс. Такий принцип використовується для точкових зварювальних машин або легкий конструкцій.

Заготовка стискається електродами для забезпечення хорошого контакту. Тиск усуває забруднення на поверхні. Через зварювальну зону проходить потужний струм, викликаючи нагрівання металу. Випромінювана теплота формується за законом Джоуля-Ленца (2.6). Після подачі струму метал охолоджується, і зона зварювання набуває монолітну структуру. Для запобігання утворенню тріщин зберігається стиснення.

Зварювальний імпульс може керуватися за допомогою аналогового регулювання або цифрового керування. В аналоговому регулюванні застосовуються реостати, автотрансформатори або перемикачі обмоток для зміни параметрів. Сучасні машини з цифровим керуванням в свою чергу оснащені мікропроцесорами або ПЛК (програмованими логічними контролерами), що дозволяють точно налаштувати імпульс залежно від матеріалу та умов. Аналогове керування використовується у простих або старих зварювальних машинах, підходить для нескладних завдань, де висока точність не є критичною, часто зустрічається в умовах обмеженого бюджету. Цифрове керування використовується в сучасних зварювальних установках, що працюють з різними матеріалами та складними завданнями, підходить для автоматизованих ліній та промислових виробництв із високими вимогами до якості.

Різні форми імпульсу використовуються залежно від типу металу та необхідної глибини плавлення. Прямокутний імпульс забезпечує рівномірний нагрів. Такий імпульс застосовується частіше для чорних металів. Синусоїдальний імпульс забезпечує м'яке нагрівання, менш агресивне для матеріалу. Підходить для матеріалів, які чутливі до перегріву або деформації. Пульсуючий (комбінований) виражається чередуванням нагрівання і охолодження. Використовується для покращення зварного шва.

По даному аналізу побудуємо зварювальний імпульс для стикового зварювання сталевих заготовок товщиною 7 мм. з параметрами:

Сила струму – 1000 А

Напруга – 10 В

Тривалість імпульсу – 1,98 с

Форма імпульсу – прямокутний імпульс

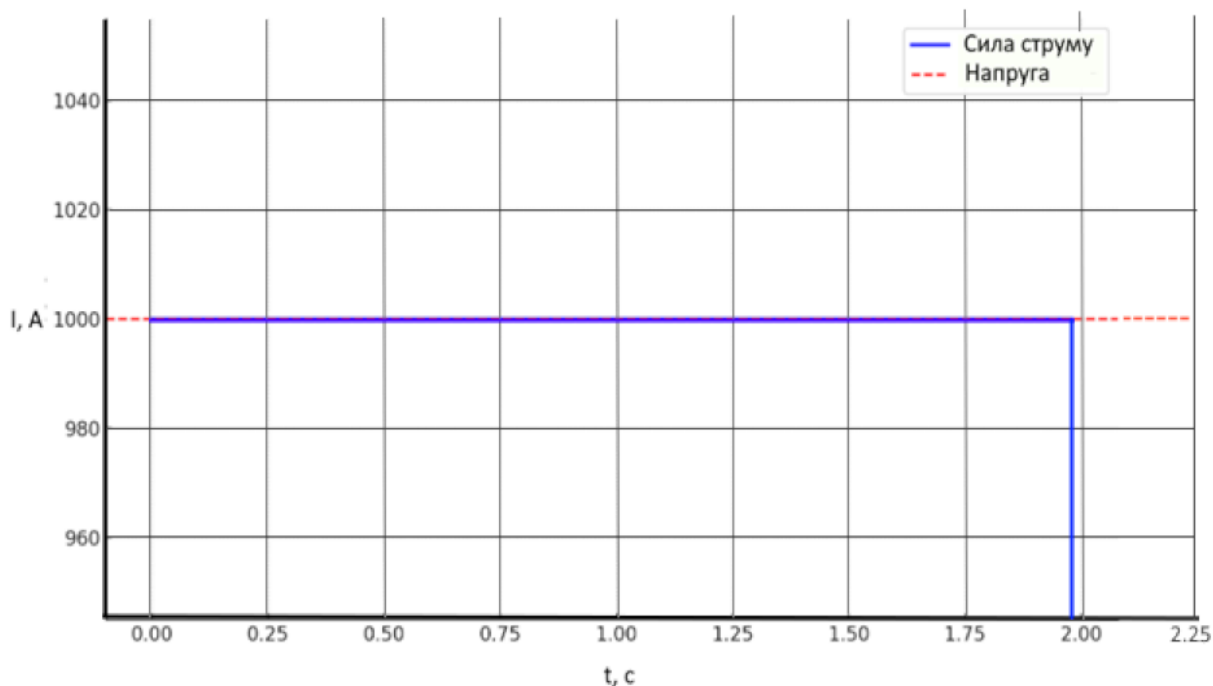


Рисунок 3.1 – Зварювальний імпульс для стикового зварювання

На рисунку 3.1 наведено зварювальний імпульс для стикового зварювання сталевих заготовок з товщиною 7 мм. Такий прямокутний імпульс забезпечує стабільне нагрівання зварювальної зони без коливань струму, що підходить для зварювання сталі з мінімальними ризиками термічних дефектів. Сила струму має постійне значення протягом усього імпульсу. Напруга забезпечує необхідну енергію для нагрівання стикової зони. Тривалість вибрана оптимальна для нагрівання заготовок з даною товщиною. Графік демонструє рівномірний рівень струму для рівномірного нагрівання металу. Уся енергія передається стабільно, без коливань або пауз. Це призводить до точного контролю, уникає піків струму, які можуть пошкодити матеріал або викликати локальний перегрів.

На початку імпульсу струм різко досягає значення 1000 А. В зварювальній зоні починається інтенсивне нагрівання через високий опір стикової ділянки. Далі струм підтримується на рівні 1000 А. Тепло генерується відповідно до закону Джоуля-Ленца (2.6). Метал у стиковій зоні нагрівається до температури плавлення чи пластичності, залежно від матеріалу та налаштувань.

При кінці імпульсу струм миттєво припиняється. Нагрітий метал починає тверднути, забезпечуючи формування монолітного з'єднання під тиском.

Перевагами такого імпульсу є стабільне нагрівання, контроль процесу, а також ефективність. Рівномірна передача енергії запобігає перегріву або недогріву окремих ділянок. Постійний струм легко контролювати, що забезпечує прогнозовану якість з'єднання. Вся електрична енергія використовується для нагрівання зварювальної зони.

Розрахуємо енергію, що виділяється під час такого імпульсу

$$E = UIt \quad (3.2)$$

$$E = 10 \cdot 1000 \cdot 1,98 = 19,800 \text{ Дж}$$

Ця енергія забезпечує достатнє нагрівання для зварювання сталі товщиною 7 мм.

3. Контур зварювання

Контур зварювання — це частина електричної схеми зварювальної машини, через яку протікає зварювальний струм. Цей контур включає компоненти, що забезпечують передачу енергії до стикової зони деталей. Його конструкція безпосередньо впливає на якість зварювання, ефективність енергоспоживання та довговічність обладнання. Елементами контуру зварювання можуть бути зварювальні електроди, які виготовляються з мідних сплавів через їх високу електропровідність та термостійкість. Вони забезпечують передачу струму до деталей і механічне стискання зварювальних поверхонь. Силові шини з'єднують вихід вторинної обмотки трансформатора із електродами. Виконуються з міді або алюмінію через низький опір і високу провідність. Мають мінімальну довжину для зниження втрат енергії. Вторинна обмотка трансформатора також є частиною контуру, яка подає на електроди низьковольтну високоамперну енергію до електродів. Контактні з'єднання використовуються для підключення шин, електродів і трансформатора. Вони повинні бути міцними і забезпечувати низький опір. Рухомі вузли забезпечують стискання деталей між електродами. Оснащуються охолодженням для запобігання перегріву.

Контур повинен мати високу електропровідність, яка забезпечує ефективну передачу струму з мінімальними втратами. Опір у зоні контакту між деталями має бути вищим, ніж в інших частинах контуру. Це дозволяє сконцентрувати нагрівання саме в зоні зварювання. Контур зварювання нагрівається під час роботи, тому всі його частини потребують охолодження (водяне або повітряне). Контур повинен витримувати механічні навантаження від тиску та температури.

В контурі електроенергія подається на електроди через силові шини від вторинної обмотки трансформатора. У зоні контакту деталі утворюється максимальний опір, що викликає локальний нагрів металу. Метал в зоні з'єднання нагрівається до пластичного або рідкого стану, що забезпечує високу якість з'єднання. Електрод створює механічний тиск, який сприяє з'єднанню і усуває можливі дефекти. Після завершення циклу зварювання контур швидко охолоджується для запобігання перегріву. В контурі можуть використовуватися датчики температури, струму та напруги.

Розрахуємо електротехнічні втрати в контурі. Для початку розрахуємо опори шин, контактів і обмотки трансформатора.

Шини зазвичай виготовляються з міді або алюмінію, які мають дуже низький питомий опір. Для міді: $\rho = 1,68 \cdot 10^{-8}$ Ом. Шини мають великий поперечний переріз (наприклад, 50 мм або більше), щоб знизити опір і витримувати високі струми.

Опір обчислюється за формулою:

$$R_{\text{шин}} = \rho \frac{L}{S} \quad (3.3)$$

де L – довжина шини, (0,5 м)

S – Площа поперечного перерізу, ($50 \text{ мм}^2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$)

$$R_{\text{шин}} = 1,68 \cdot 10^{-8} \frac{0,5}{5 \cdot 10^{-6}} = 0,000168 \text{ Ом}$$

Контакти часто виготовляють із мідних сплавів (наприклад, берилієвої міді) для підвищення зносостійкості. Ці сплави мають трохи вищий питомий опір, ніж чиста мідь. Опір залежить від площі контакту між елементами. Якщо контакт не ідеальний (навіть при мікроскопічних нерівностях), утворюється невеликий додатковий опір. Для добре оброблених контактів із міді або її сплавів контактний опір становить 0,0001 Ом до 0,0003 Ом. Приймаємо $R_{\text{конт}} = 0,0002 \text{ Ом}$.

Вторинна обмотка трансформатора має велику довжину провідника порівняно з шинами чи контактами, оскільки містить багато витків. Провідники у вторинній обмотці зазвичай товсті, але все ж мають меншу площу перерізу, ніж шини. Припустимо, вторинна обмотка складається з мідного провідника довжиною 2 м і перерізом $25 \text{ мм}^2 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$

$$R_{\text{обм}} = \rho \frac{L}{S} \quad (3.4)$$

$$R_{\text{обм}} = 1,68 \cdot 10^{-8} \frac{2}{2,5 \cdot 10^{-6}} = 0,000336 \text{ Ом}$$

Сумарний опір:

$$R = R_{\text{шин}} + R_{\text{конт}} + R_{\text{обм}} \quad (3.5)$$

$$R = 0,000168 + 0,0002 + 0,000336 = 0,000704 \text{ Ом}$$

Втрати потужності у всьому контурі:

$$P_{\text{втрати}} = I^2 R \quad (3.6)$$

$$P_{\text{втрати}} = 1000^2 \cdot 0,000704 = 704 \text{ Вт}$$

Втрати на шинах:

$$P_{\text{шин}} = I^2 R_{\text{шин}} \quad (3.7)$$

$$P_{\text{шин}} = 1000^2 \cdot 0,000168 = 168 \text{ Вт}$$

Втрати на контактах:

$$P_{\text{конт}} = I^2 R_{\text{конт}} \quad (3.8)$$

$$P_{\text{конт}} = 1000^2 \cdot 0,0002 = 200 \text{ Вт}$$

Втрати на вторинній обмотці трансформатора:

$$P_{\text{обм}} = I^2 R_{\text{обм}} \quad (3.9)$$

$$P_{\text{обм}} = 1000^2 \cdot 0,000336 = 336 \text{ Вт}$$

ККД обчислюється як відношення корисної потужності до загальної потужності:

$$\eta = \frac{P_{\text{корисна}}}{P_{\text{загальна}}} \cdot 100\% \quad (3.10)$$

$$P_{\text{загальна}} = P_{\text{корисна}} + P_{\text{втрати}} \quad (3.11)$$

$$P_{\text{загальна}} = 11000 + 704 = 11704 \text{ Вт}$$

$$\eta = \frac{11000}{11704} \cdot 100\% = 93,98\%$$

4. Блок захисту

Блок захисту є важливим елементом електричної схеми зварювальної машини, який відповідає за безпеку експлуатації обладнання, захист від аварійних ситуацій і забезпечення надійності роботи всіх компонентів. У зварювальних машинах, де використовуються високі струми та напруги, блок захисту грає важливу роль у запобіганні пошкоджень і збоїв. Блок захисту повинен перешкодити виходу з ладу трансформатора, шин та інших елементів системи через коротке замикання в контурі, контролювати тривале перевищення струму і напруги, що може призвести до перегріву компонентів, слідкувати за температурою елементів системи, виявляти відхилення параметрів від заданих значень, а також повідомляти оператору про несправності.

Автоматичний вимикач встановлюється в первинному колі трансформатора. Він захищає від короткого замикання і перевантаження. Вибирається відповідно до номінального струму, що відповідає потужності зварювального трансформатора. Запобіжники використовуються у вторинному колі для захисту від струмів короткого замикання. Вони служать додатковими захисними бар'єрами. Для захисту трансформатора від перегріву встановлюються теплові реле. Вони реагують на підвищення температури, що перевищує допустиму межу. Струмове реле вимірює силу струму в контурі. Реле аварійно відключає машину при перевищенні граничного значення. Тиристри або варистори захищають від перенапруг (наприклад, при стрибках у мережі живлення). Датчики температури встановлюються в трансформаторах, електродах і системах охолодження. Здійснюють автоматичне відключення машини при перегріванні. Відстежувати параметри в режимі реального часу можуть контролери або ПЛК. Вони реалізують складну логіку захисту та автоматичного перезавантаження системи.

При замиканні електрода або пошкодженні ізоляції відбудеться коротке замикання. Автоматичний вимикач в первинному колі розірве електричний ланцюг. Запобіжник вторинного кола розплавиться і ізолює пошкоджену ділянку. Якщо струм в контурі протягом тривалого часу перевищує допустиме значення, теплове реле відключає трансформатор. Реле струму може активувати аварійне відключення. Датчик температури подає сигнал на контролер, коли температура перевищує норму. Система охолодження збільшує подачу охолоджуючої рідини або повітря або зупиняє роботу машини. Також контролер у разі тривалого відхилення від заданих параметрів може зупинити роботу машини.

Здійснимо розрахунок блоку захисту.

Струм у первинному колі для трифазної системи:

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad (3.12)$$

$$I_1 = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 18,6 \text{ A}$$

Номінальний струм автомата з урахуванням запасу 20 – 25 %:

$$I_{\text{авт}} = 1,2 \cdot I_1 \quad (3.13)$$

$$I_{\text{авт}} = 1,2 \cdot 18,6 = 22,3 \text{ А}$$

Запобіжник повинен витримувати робочий струм $I_2 = 1000 \text{ А}$ із запасом

Номінальний струм запобіжника з урахуванням запасу 20 – 25 %:

$$I_{\text{зап}} = 1,25 \cdot I_2 \quad (3.14)$$

$$I_{\text{зап}} = 1,25 \cdot 1000 = 1250 \text{ А}$$

Максимальна температура обмоток трансформатора $150 \text{ }^\circ\text{C}$ (типове значення для мідних обмоток із класом ізоляції F) тому теплове реле вибираємо в діапазоні $120 - 150 \text{ }^\circ\text{C}$

Реле струму підбираємо по робочому струму із запасом 10 %:

$$I_{\text{рел}} = 1,1 \cdot I_2 \quad (3.15)$$

$$I_{\text{рел}} = 1,1 \cdot 1000 = 1100 \text{ А}$$

Датчики встановлюються на трансформаторі та електродах для моніторингу температури. Вибираємо NTC-датчики (для трансформатора), які вимірюють температуру до $150 \text{ }^\circ\text{C}$, а також термопару типу К (для електродів) з діапазоном $0 - 1000 \text{ }^\circ\text{C}$

Для системи сигналізації можна скористатися звуковою сигналізацією потужністю сирени $85 - 110 \text{ дБ}$ і світловою сигналізацією з червоними індикаторами LED.

5. Система керування

Система керування — це інтелектуальна частина зварювальної машини, яка відповідає за налаштування, моніторинг і автоматизацію зварювального процесу. Вона забезпечує оптимальну роботу обладнання, стабільність процесу та високу якість зварного з'єднання.

Основними завданнями сучасної системи керування можуть бути налаштування параметрів зварювання (струм, напруга, час зварювання, зусилля притискання), контроль процесу зварювання у режимі реального часу, автоматизація, яка допоможе виконувати зварювальні операції з мінімальною участю оператора, виявляти несправності, а також взаємодіяти з іншими системами (система охолодження, блок захисту і тд.). Така система забезпечена ПЛК контролерами для забезпечення обробки сигналу, інтерфейсами для вводу параметрів, різними датчиками для виміру і контролю параметрів та програмним забезпеченням

Оператор вводить параметри зварювання через панель керування (струм, тривалість, тиск), ПЛК записує ці дані та готує систему до роботи. Датчики перевіряють готовність системи: справність електродів, температура трансформатора, наявність охолодження. ПЛК керує процесом зварювання, подає струм та контролює тривалість зварювання. При завершенні циклу система плавно припиняє подачу струму і активується система охолодження. Для моніторингу і аналізу допомагають датчики, які передають інформацію про виконання.

Система керування є важливим компонентом, що забезпечує ефективність і безпеку зварювальної машини. Інноваційні рішення, такі як цифрове керування і дистанційний моніторинг, значно підвищують продуктивність і якість.

3.2 Принцип роботи та будова силової електричної схеми

З етапів проектування в попередньому пункті було розроблено силову електричну схему машини для контактної стикового зварювання чорних металів, яка наведена на рисунку 3.2.

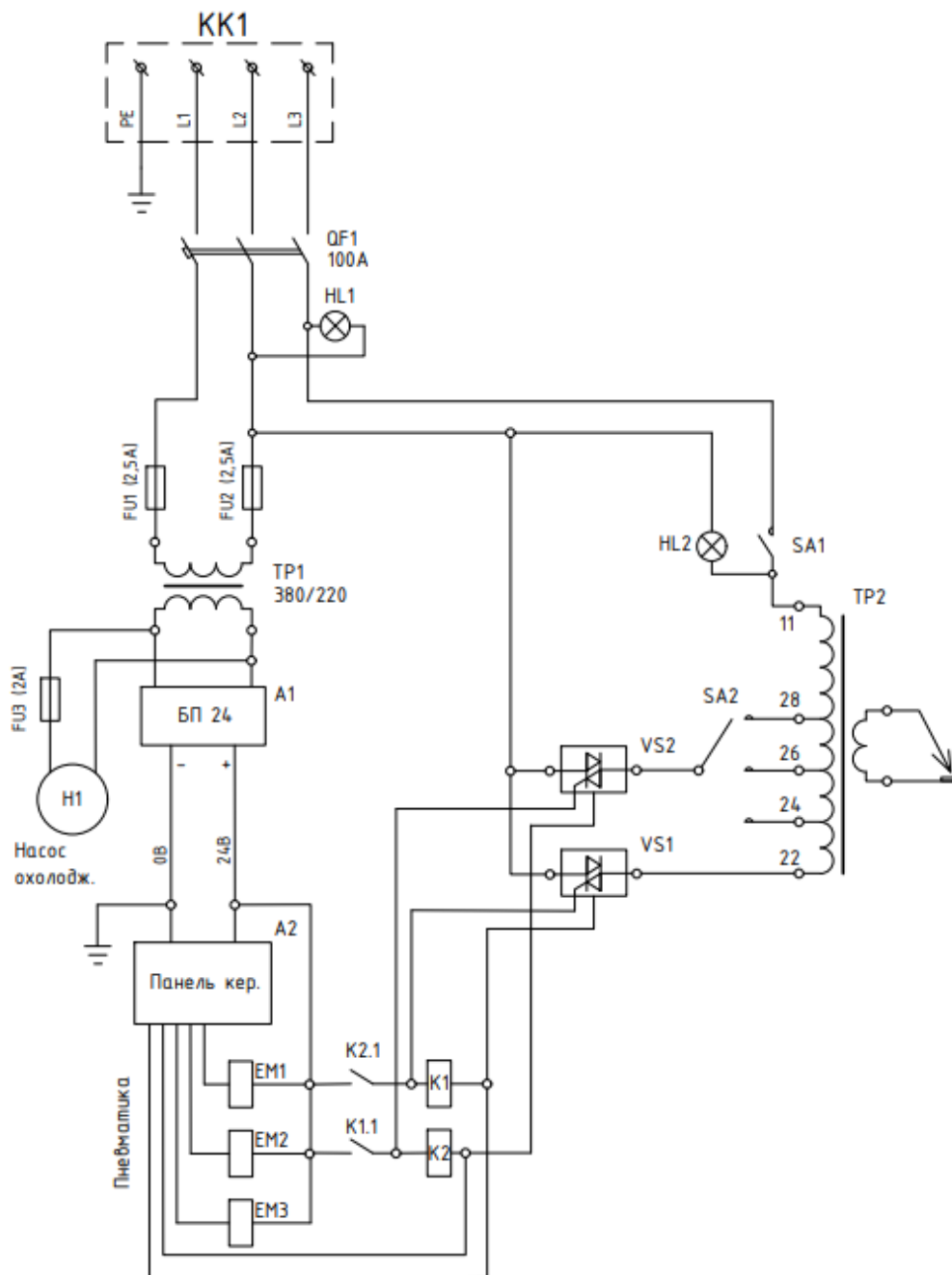


Рисунок 3.2 – Силова електрична схема машини

КК1 – клемна колодка живлення

QF1 – ввідний вимикач автоматичний

HL1, HL2 – сигнальні лампи

FU1, FU2, FU3 – запобіжники

TP1 – трансформатор розділовий

БП24 – блок живлення електроавтоматики

Н1 – насос охолодження силової частини

A2 – електронний блок керування

EM1, EM2, EM3 – електромагніти пневмоавтоматики

K1, K2 – реле електромагнітні проміжткові

VS1, VS2 – симісторні модулі

SA1, SA2 – перемикачі

TP2 – зварювальний трансформатор

Електроживлення подається на клемну колодку КК1, далі через вимикач QF1 на схему машини. Трансформатор TP1 служить для гальванічної розв'язки блока живлення контролера та мережі, що забезпечує електробезпеку та стабільність напруги. Живлення контролера та електроавтоматики здійснюється постійним струмом з напругою 24В, що забезпечує блок живлення А1 (БП24). Цей блок подає напругу для керування електромагнітами EM1 та EM2, що відповідають за затискання деталей. За допомогою контролера А2 з меню задається час зварювання (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд меню контролера

Зварювання здійснюється в два етапи, розігрів та безпосередньо зварювання. Відповідно в меню можна задати час розігріву (1) та час зварювання (2). Також є вкладки меню для 5 деталей, що можна зберегти у пам'яті контролера. На рисунку активна вкладка 1.

При подачі команди від педалі спрацьовує електромагніт клапану EM1 та EM2, деталь затискається, після чого подається струм розігріву деталі, вмикається реле K1 та симістор VS1. З витримкою часу що задано в меню вмикається електромагніт EM3 клапану подачі та симістор VS2, збільшуючи струм через деталь. Величина струму зварювання задається перемикачем SA2. Перемикач SA1 потрібен для зняття напруги з трансформатора в режимі «Налагодження». Охолодження трансформатора та симісторів здійснюється прокачуванням охолоджувальної рідини через спеціальні секції охолодження насосом Н1. Лампа HL1 сигналізує наявність напруги живлення на машині. Лампа HL2 сигналізує подачу струму зварювання.

Клемна колодка живлення КК1 використовується для підключення мережі живлення до машини. Дозволяє легко встановлювати та розподіляти живлення на основні компоненти. Автоматичний вимикач QF1 діє як захист від короткого замикання та перевантаження для всієї системи. Він також може знеструмлювати машину для технічного обслуговування або аварійного вимкнення. Запобіжники FU1, FU2, FU3 забезпечують додатковий захист компонентів схеми, особливо трансформатора та електронних модулів, що відповідають за керування процесом зварювання. Після активації режиму «Зварювання» сигнал передається на трансформатор TP2, який генерує необхідний зварювальний струм. Перемикачі SA1 і SA2 дозволяють перемикати режими роботи. Симісторні модулі VS1 та VS2 також відповідають за регулювання зварного імпульсу і забезпечують плавний запуск зварювального процесу, що мінімізує стрибки струму в системі. У цьому випадку використовується прямокутний імпульс, що забезпечує стабільність струму.

Схема забезпечує баланс між простотою, надійністю та ефективністю. Використання сучасних компонентів дозволяє оптимізувати процес зварювання для різних умов і матеріалів. Конструкція також полегшує обслуговування та налаштування обладнання для різних виробничих завдань.

3.3 Технічні характеристики машини, будова та принцип роботи

Для зварювання використовується машина ZIGZAG WELD 002. Машина призначена для зварювання деталей з низьковуглецевих сталей із дроту, полоси, профільної труби. Деталі, призначені для зварювання, не повинні мати окисних плівок і забруднень, що перешкоджають зварюванню. Машина повинна експлуатуватися в закритих приміщеннях на висоті не більше 1000 м над рівнем моря при температурі охолоджуючої води від плюс 5°C до плюс 25°C. Машина виготовляється в виконанні ПХЛ4 (вироби для використання в помірному та холодному кліматі у приміщеннях зі штучно регульованими кліматичними умовами (категорія розміщення 4)) при температурі навколишнього повітря від плюс 1°C до плюс 35°C з відносною вологістю не більше 80% при температурі плюс 25°C. Навколишнє повітря не повинно містити шкідливі гази, що руйнують метали, лакофарбові покриття та ізоляцію.

Машина виготовляється із живленням від трифазної мережі напруги 380 В при частоті 50 Гц. Технічні характеристики машини наведені в таблиці 3.1. На рисунку 3.4 наведено загальний вигляд машини.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд машини

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики машини

Модель	ZIGZAG WELD 002
Номінальна потужність при 50% навантаженні, кВА	80
Максимальний струм короткого замикання, кА	9
Сила стиснення заготовки, Н	1200
Сила фіксації заготовки, Н	2100
Максимальна площа зварювання для сталі, мм ²	120
Тип заготовки для деталей, розміри	
Дріт, мм	2-16
Труба, мм	15*15
Полоса, мм	15x2, 20x2, 35x2мм
Система управління	Автоматична система управління ZIGZAG WELD
Мова інтерфейсу	Укр/Eng/ можлива інша
Габарит верстату Д*Ш*В, мм	990*850*1500
Напруга живлення, В	380
Максимальна споживана потужність (пікова), кВт.	30
Вага обладнання, кг	130
Тиск повітря	8 МПа

Машина складається з каркаса, на якому змонтовані пневматичний пристрій притискання та переміщення заготовки, зварювальний трансформатор, струмопідведення до електродів, сенсорна панель керування, система охолодження.

Каркас із профільної труби є основною несучою конструкцією верстата, що встановлений на віброопорах для висталення верстату по рівню та невілювання нерівності поверхні на який встановлено верстат. Пневматичний привід, який складається із двох циліндрів, що працюють в парі, необхідний для притиснення (фіксації) заготовок. Горизонтальна салазка рухається від пневматичного приводу, який переміщує заготовку для зварювання і має двох ступеневе керування по зусиллю притискання та швидкості руху.

Електроди зварювання, що виготовлені із твердої міді виконують також роль позиціонерів для установки деталей на один рівень. Їх форма може бути змінена залежно від форми деталей, а також являються розхідним матеріалом і з часом їх необхідно замінювати. Вони мають упорну бокову поверхню для позиціонування заготовок із полоси та профільної труба та призматичну канавку для дроту. До електродів підведено система охолодження через фітинги для роботи машини в довготривалому режимі роботи.

Електроди встановлені на струмопровідні пластини, що виготовлені із латуні кінці яких під'єднанні до трансформатора через мідні шини та набрані в суцільний каскад. Для притиснення заготовок зверху на кронштейнах через електроізоляційний матеріал із текстоліту встановлені пластини притиснення, що виготовлені із латуні.

На верхній частині машини встановлена панель керування із контрольними сигнальними лампами зеленого (Живлення) та жовтогарячого (Подача струму) кольорів.

Педальна кнопка має гнучкий зв'язок з машиною і встановлюється в зручному для роботи місці. За допомогою нею вмикається цикл зварювання.

Зварювальний трансформатор та пневматичне керування циліндрами знаходяться всередині шафи. На боковій частині шафи встановлений автоматичний вимикач, вмикач трансформатора та чотири позиційні перемикачі для зміни ступенів зварювання по струму (зміна обмоток трансформатора). Вхідний блок очистки повітря очищує вхідне повітря для циліндрів, а регулятор та реле тиску контролює наявність необхідного для роботи тиску в системі. Регулятор тиску необхідний для зміни зусилля притискання при другій ступені руху циліндра під час зварювання деталі, залежно від перерізу заготовки.

Принцип дії машини полягає в тому, що зварювання здійснюється шляхом притиснення деталей, які нагрілися за допомогою зварювального струму, який пройшов безпосередньо через них.

Робота машини починається з натискання педальної кнопки після підведення зварюваних деталей одна до одної, які установлені на електродах. З цього моменту автоматично і в заданому на контролері відрізках часу здійснюються операції циклу зварювання в наступній по черговості:

- Притиснення деталей верхніми циліндрами заготовок до електродів.
- Переміщення боковим циліндром двох деталей одна до одної в двох режимах, які програмуються на контролері по часу, а залежно від положення перемикача по силі струму
- Режим 1 – «розігрів» – рух заготовок із заданою швидкістю (яку можна змінювати за допомогою дроселю 1 та заданим зусиллям, що можна змінювати регулятором 1, які встановлені в шафі) і проходження електричного струму, а час дії виставляється на контролері в рядку «1»
- Режим 2 – «зварювання» – продовження руху заготовок із заданою швидкістю (яку можна змінювати за допомогою дроселю 2, який встановлений в шафі та заданим зусиллям, що можна змінювати регулятором 2, що встановлений на боковій панелі) і проходження електричного струму, величина якого задається положенням перемикача.

- Витримка деталей у стиснутому стані при вимкненому струмі триває 1,5 секунди. Потім відбувається розкриття електродів по чергово.

Для отримання одного зварювання слід після натискання відразу ж звільнити педаль. Зміна робочого ходу здійснюється горизонтальним упором. При цьому необхідно ослабити гайки і поворотом гвинта встановити потрібний хід. Привід електрично ізольований від каркаса машини.

Для зварювання необхідно встановити заготовки в одну із упорних частин електродів (для круглих деталей це призматична канавка, а для плоских передній упор). Сумістити їх одна відносно одної із зазором, який повинен бути не більшим чим робочий хід. При цьому мінімальний виліт заготовок відносно торців електрода повинен бути не менше 3 мм, щоб уникнути залипання електродів. Для контролю ходу без зварювання, а також контролю реального зусилля притискання можна вимкнути подачу струму вимикачем в положення «0».

Робота пневматичного приводу та управління ним здійснюється відповідно до схеми пневмо-електросистеми (Рис. 2.8).

Охолодження обмотки зварювального трансформатора, блока установки твердотільних реле та самих електродів відбувається замкнутою системою охолодження антифризом класу G12 відповідно до принципової схеми охолодження, яка наведена на рисунку 3.5. Для забезпечення ефективності охолодження необхідно регулярно перевіряти рівень та стан антифризу, очищати теплообмінник від пилу і бруду, а також перевіряти справність насоса охолодження.

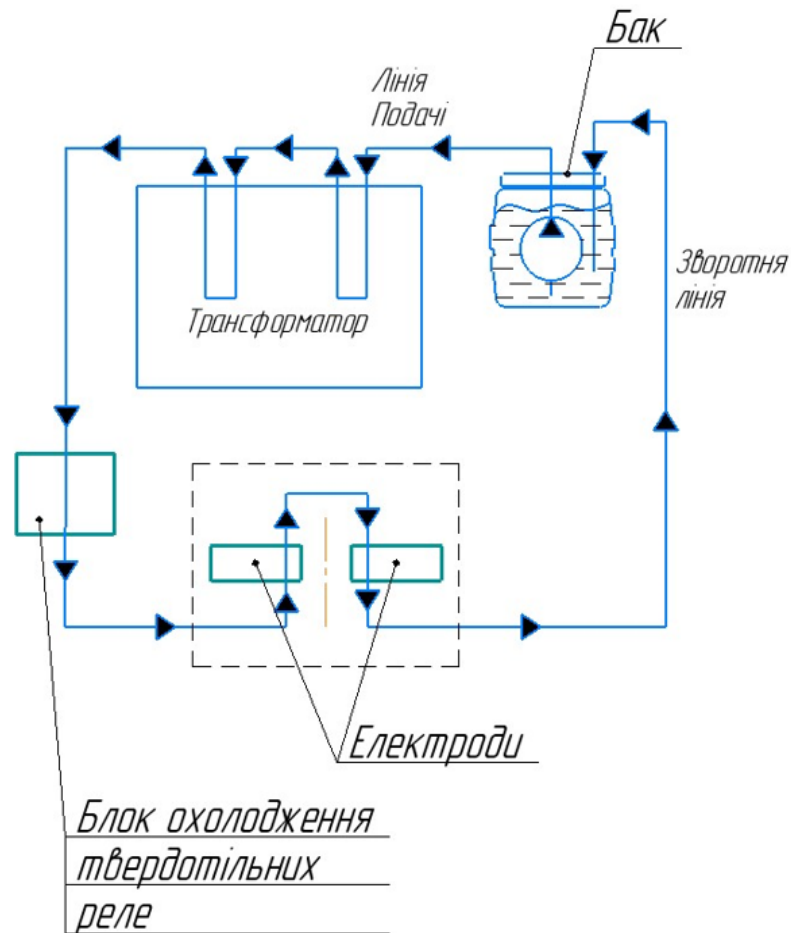


Рисунок 3.5 – Схема охолодження машини

Насос подає охолоджуючу рідину з бака по лінії подачі до трансформатора, блоку твердотільних реле та електродів. В цих компонентах відбувається передача тепла від нагрітих елементів до рідини. Після проходження вузлів охолоджуюча рідина з підвищеною температурою по зворотній лінії повертається до бака. У випадку необхідності її охолодження відбувається за допомогою теплообмінника або зовнішнього радіатора. У системі передбачено датчики температури, які сигналізують блок керування про перевищення заданих температурних меж. У разі перегріву система охолодження може активувати додатковий контур охолодження або зупинити роботу машини.

Важливим є баланс між швидкістю потоку та ефективністю тепловідведення: занадто швидкий потік може знижувати ефективність охолодження, а занадто повільний призводить до перегріву компонентів.

Трубопроводи для подачі та зворотного потоку виготовлені з матеріалів, стійких до дії антифризу, таких як полімери або нержавіюча сталь. Діаметр труб розрахований так, щоб забезпечити необхідний потік рідини без надмірних втрат тиску, особливо для охолодження найбільш нагрітих вузлів, таких як трансформатор. Теплообмінник у разі інтенсивного зварювання або роботи у важких умовах додатково охолоджує рідину перед поверненням до бака. Він може бути оснащений вентилятором для покращення тепловіддачі.

Замкнута схема знижує витрати рідини та мінімізує забруднення охолоджувальної рідини, а також забезпечує оптимальне охолодження навіть при високих теплових навантаженнях. Антифриз класу G12 має високу термостабільність, стійкий до корозії, що подовжує термін служби компонентів.

Висновок: У ході третього розділу було проведено проектування силової електричної схеми. Схема враховує розподіл живлення між основними вузлами: зварювальним трансформатором, блоком управління, пневматичною системою затискання та системою охолодження. Під час проектування було розраховано потужність джерела живлення (зварювальний трансформатор) потужність якого дорівнює 11 кВт, а також розраховано втрати і ККД. Передбачено засоби захисту, які забезпечують безпечну експлуатацію, зокрема автоматичні вимикачі, запобіжники й сигналізація. Для зварювання застосовується машина ZIGZAG WELD 002, яка має максимальну споживану потужність 30 кВт і максимальний струм КЗ 9 кА. З іншими характеристиками машини можна ознайомитися в таблиці 3.1.

Таким чином, розроблена силова електрична схема й технічні характеристики машини повністю відповідають вимогам до сучасних контактних зварювальних машин. Вона забезпечує високу продуктивність, надійність і безпеку в роботі, а також тривалий термін експлуатації обладнання.

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОПТИМІЗОВАНОЇ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ

4.1 Дослідження та аналіз оптимізованої зварювальної машини

У результаті виконаних попередніх розділів проектування було розроблено та оптимізовано машину для контактного стикового зварювання чорних металів. Дослідження зосереджено на ключових аспектах роботи машини, її продуктивності, надійності та ефективності, а також аналізу оптимізаційних рішень, що були застосовані.

Розроблена силова електрична схема забезпечує ефективний розподіл електричної енергії між основними вузлами машини, а саме зварювальний трансформатор (ТР2) потужністю 11 кВт забезпечує необхідну силу струму та напругу для процесу зварювання, система захисту у вигляді автоматичного вимикача QF1 (100 А) та запобіжників дозволяє уникнути аварійних режимів і перевантажень, зменшуючи ризик пошкодження обладнання, вибір твердотільних реле для управління струмом підвищує швидкодію та зменшує втрати в системі. Силова схема є оптимальною, забезпечує високий ККД на рівні 93,98%, що відповідає сучасним вимогам до енергоефективності.

Дослідивши систему охолодження можна сказати, що особливостями такої системи є підтримування стабільного температурного режиму, що зменшує теплові втрати й забезпечує довговічність компонентів. Витрати енергії мінімізовані завдяки використанню енергоефективного насоса. Система охолодження забезпечує стабільну роботу навіть у важких режимах та дозволяє зберігати високу якість зварного з'єднання.

Керування машиною відбувається за допомогою електронного блоку керування (А2) з можливістю налаштування точного регулювання часу зварювання та розігріву відповідно до товщини деталей, автоматизацію пневматичних затискачів для надійної фіксації заготовок, контроль охолодження, який забезпечує стабільну роботу системи.

Перевагами такої системи керування є точна автоматизація процесу, яка дозволяє зменшити вплив людського фактору, а також можливість збереження параметрів для різних режимів зварювання підвищуючи продуктивність.

Система керування є сучасною та забезпечує гнучкість у роботі, що дозволяє застосовувати машину для широкого спектра зварювальних задач.

Розрахунковий ККД машини складає 93,98%, що свідчить про мінімальні втрати енергії. Висока ефективність досягнута завдяки оптимізації зварювального трансформатора, твердотільних реле для комутації, системи охолодження замкнутого типу. Продуктивність машини зросла завдяки автоматизації та стабільному тепловому режиму.

Оптимізована зварювальна машина відповідає сучасним вимогам щодо продуктивності, енергоефективності та надійності. Основними досягненнями є зменшення втрат енергії та підвищення ККД, забезпечення стабільної роботи силових компонентів завдяки ефективному охолодженню, підвищення точності управління за допомогою сучасної системи автоматизації. Розроблена конструкція дозволяє виконувати контактне стикове зварювання чорних металів з високою якістю та ефективністю, з мінімальним споживанням енергії, що дає йому конкурентну перевагу на сучасному ринку.

Далі розглянемо незадовільні результати зварювання перед оптимізацією машини, які наведені на рисунку 4.1 та проведемо аналіз яким чином можна досягти покращення результатів зварювання.



Рисунок 4.1 – Незадовільні результати зварювання перед оптимізацією машини

На рисунку представлено незадовільні результати зварювання перед оптимізацією параметрів зварювальної машини. Очевидні дефекти на з'єднаннях свідчать про порушення технологічного процесу або неправильно підібраних параметрів зварювання.

Розглянемо верхню пару зразків.

Зварне з'єднання має надмірне потовщення або "наплив" матеріалу на місці зварювання. Причиною цього можуть бути як надмірний струм (друга деталь) так і недостатній струм (перша деталь), неправильний тиск електродів, а також недостатній час охолодження. Надмірний струм перевищує номінальний зварювальний струм, що призводить до перегріву та оплавлення металу, що формує напливи. Недостатній струм, в свою чергу, призведе до недогріву деталі від якого відбувається недостатнє прогрівання зони з'єднання. Неправильний тиск електродів, якщо він занадто малий, може не забезпечувати щільного контакту між деталями, що провокує утворення напливу та дефектного шва. Через швидке зняття навантаження, тобто недостатнього часу охолодження, метал не встигає сформувати якісну зону зварювання.

Рішенням цих причин є оптимізація зварювального струму відповідно до товщини і матеріалу заготовок, збільшення тиску електродів для забезпечення якісного контакту, Налаштування тривалості зварювального циклу (часу нагрівання і охолодження). Для налаштування цих параметрів можна скористатися таблицями, які були побудовані по розрахункам в другому розділі (2.1, 2.6, 2.8).

Розглянемо нижню пару зразків.

З'єднання має деформацію і зсув по осі деталей, при цьому місце зварювання виглядає нерівномірним. Причиною цього можуть бути неправильне вирівнювання заготовок, низький тиск електродів, нерівномірний прогрів. Неправильне вирівнювання заготовок може свідчити про те, що деталі не були належним чином закріплені перед зварюванням, що призвело до їх зсуву під час зварювання. Недостатній тиск не втримує заготовки у правильному положенні, а нерівномірний прогрів впливає на струм зварювання, який в цьому випадку може бути занадто малим або нестабільним, що спричиняє неоднаковий розігрів матеріалу.

Рішенням в цьому випадку є використання системи пневматичної фіксації для надійного притиску деталей до моменту завершення зварювання, оптимізація тиску електродів для усунення зсуву, збільшення зварювального струму для забезпечення рівномірного прогріву.

Незадовільні результати зварювання, показані на рисунку, свідчать про неоптимальні параметри зварювального процесу та недостатню фіксацію заготовки. Оптимізація струму, тиску електродів і часу зварювання, а також впровадження надійної системи охолодження дозволить усунути дефекти і забезпечити якісне, рівномірне зварювання.

Далі розглянемо задовільні результати зварювання після оптимізації машини, які наведені на рисунку 4.2 та проведемо аналіз яким чином було досягнуто покращення результатів зварювання.



Рисунок 4.2 – Задовільні результати зварювання після оптимізації машини

На рисунку представлено задовільні результати зварювання, що значно покращилися після оптимізації параметрів зварювальної машини. Покращення результатів вдалося завдяки оптимізації зварювального струму з урахуванням площі контакту з'єднаних деталей і їх матеріалу (чорні метали). Підвищення стабільності струму за допомогою твердотільних реле забезпечило рівномірний нагрів у зоні зварювання. Регулювання тиску електродів дозволило досягти надійного контакту без деформації заготовок. Пневматична система забезпечила точний і стабільний тиск. Час подачі струму був точно визначений на основі розрахунків. Це дозволило уникнути недогріву або перегріву матеріалу. Замкнута система охолодження дозволила уникнути перегріву обмоток трансформатора та електродів, що забезпечило стабільність параметрів процесу.

В результаті оптимізації параметрів зварювальної машини були усунені основні проблеми нерівномірного прогріву, деформації та перегріву деталей. Ретельний контроль струму, прикладеного тиску і часу витримки дозволив отримати рівномірне, якісне зварювання. Закрита система охолодження також сприяла стабільності процесу.

Висновок: У ході четвертого розділу було проведено дослідження та аналіз оптимізованої зварювальної машини для контактного стикового зварювання чорних металів. Усі проблеми, що виникали на початковому етапі, були виявлені, проаналізовані та вирішені завдяки впровадженню наступних заходів: оптимізація зварювального струму, регулювання тиску електродів, контроль часу нагріву та охолодження.

Як видно з результатів зварювання після оптимізації, якість зварного з'єднання значно покращилася. Шов став рівномірним, надійним і відповідає вимогам міцності. Поперечний переріз з'єднань було доведено до розрахункових значень, що забезпечує необхідну механічну міцність конструкцій. Оптимізована зварювальна машина демонструє високу ефективність та надійність у процесі контактного стикового зварювання чорних металів. Отримані результати можуть бути використані для покращення продуктивності та якості зварювальних процесів у промислових умовах.

Таким чином, проведені дослідження та оптимізація підтвердили доцільність модернізації обладнання та дозволили підвищити ефективність технологічного процесу зварювання.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра було розроблено та оптимізовано систему автоматики й силової електроніки для контактної зварювальної машини, призначеної для зварювання чорних металів. Основними завданнями були аналіз технологічного процесу, розробка системи автоматики і силової електроніки, оптимізація параметрів зварювання.

Сучасна система керування розроблена на основі автоматизованих компонентів, що забезпечило регулювання ключових параметрів: зварювального струму, часу витримки, тиску електродів та охолодження. Розраховані оптимальні значення для зварювального струму, часу нагріву та тиску електродів дозволили досягти якісного й надійного зварного з'єднання. Така система забезпечує підвищення надійності та продуктивності зварювальної машини, оптимізацію параметрів процесу зварювання для отримання якісного зварного з'єднання, зниження енергетичних втрат та автоматизації керування, а також стабільний температурний режим завдяки замкнутій системі охолодження.

Результати проведення дослідження зразків до та після оптимізації параметрів зварювання показали значне покращення якості зварних з'єднань, зменшення дефектів та відповідність з'єднань вимогам міцності. Оптимізована зварювальна машина демонструє високу ефективність та надійність у процесі контактного стикового зварювання чорних металів.

Проведені дослідження та оптимізація параметрів зварювальної машини довели доцільність впровадження сучасних рішень для покращення технологічного процесу, що відповідає сучасним вимогам промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни: “Улаштування електроустановок споживачів, електрична частина станцій та підстанцій” / Полтава: НУПП, 2021. – 30 с.
2. Любич О. Й. Обладнання і технологія зварювального виробництва: навч. посіб. / О. Й. Любич, В. М. Радзієвський, А. Ф. Будник. — Суми: Сумський державний університет, 2013. — 229 с.
3. Forsage-svarka. Знайомство з принципами точкового зварювання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://forsage-svarka.com.ua/ua/a211361-znakomstvo-printsipami-tochechnoj.html>
4. Луцький національний технічний університет. Устаткування для електроконтактного зварювання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/Нова%20Любешів/page15.html
5. Forsage-svarka. Принцип роботи контактного зварювання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://forsage-svarka.com.ua/ua/a211344-printsip-raboty-kontaktnoj.html>
6. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 344 с.
7. Бобриков, В. М., Кузьмін, О. В. Основи контактного зварювання. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. – 312 с.
8. Вікіпедія. Точкове зварювання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Точкове_зварювання#:~:text
9. Мельник, В. В., Соболевський, Р. С. Силова електроніка для зварювальних установок. – Дніпро: ДНУЗТ ім. Лазаряна, 2022. – 296 с.
10. Вікіпедія. Шовне зварювання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Шовне_зварювання#:~:text

11. Вікіпедія. Стикове зварювання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Стикове_зварювання#:~:text
12. Сварцентр. Стикові зварки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://svarcentr.com.ua/ua/mashiny-tochechnoi-i-shovnojj-svarki-ua>
13. ВІК. Стикове зварювання ПЕ Трубопроводів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://vik.com.ua/pages/view/stykovaya-svarka#:~:text>
14. Федоров, І. Г., Тищенко, В. О. Зварювальні апарати та їх оптимізація. – Хмельницький: ХНУ, 2021. – 275 с.
15. Dnipro – М. Характеристики компресора Dnipro – М АС – 20 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dnipro-m.ua/tovar/kompressor-vozdushnyj-ac-20/?tab=characteristics>
16. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Джерело живлення для контактного зварювання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e21cf8e7-feb1-45f4-a428-2605b11cc8b1/content>
17. Гуменюк І. В. Обладнання та технології зварювальних робіт: навч. посіб./ І. В. Гуменюк. – К. : Грамота, 2014. – 120 с.
18. Vasser. Характеристики зварювальної машини ZIGZAG WELD 002 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://vasser.com.ua/ua/p1606986888-kontaktno-stykovoj-svarochnyj.html>

ДОДАТКИ

2

Метою роботи є дослідження і розроблення системи автоматики та силової електроніки системи для машини контактного зварювання чорних металів та подальша оптимізація її параметрів.

Для виконання поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз існуючих методів та обладнання, що існують для зварювання;
- провести математичне моделювання процесу зварювання та оптимізацію пневмо-електросистеми;
- розробити силову електричну схему;
- провести аналіз оптимізованої зварювальної машини.

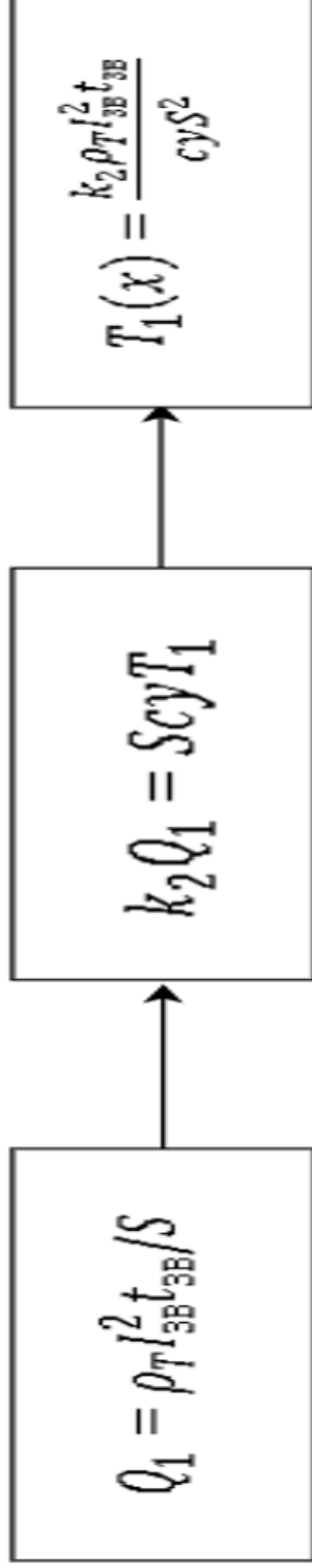
Об’єкт розроблення – машина контактної стикового зварювання, керування якої приводиться за допомогою автоматичної системи керування, контролера, пневматики і зварювального трансформатора.

3

Аналіз обладнання, що існує для контактного зварювання



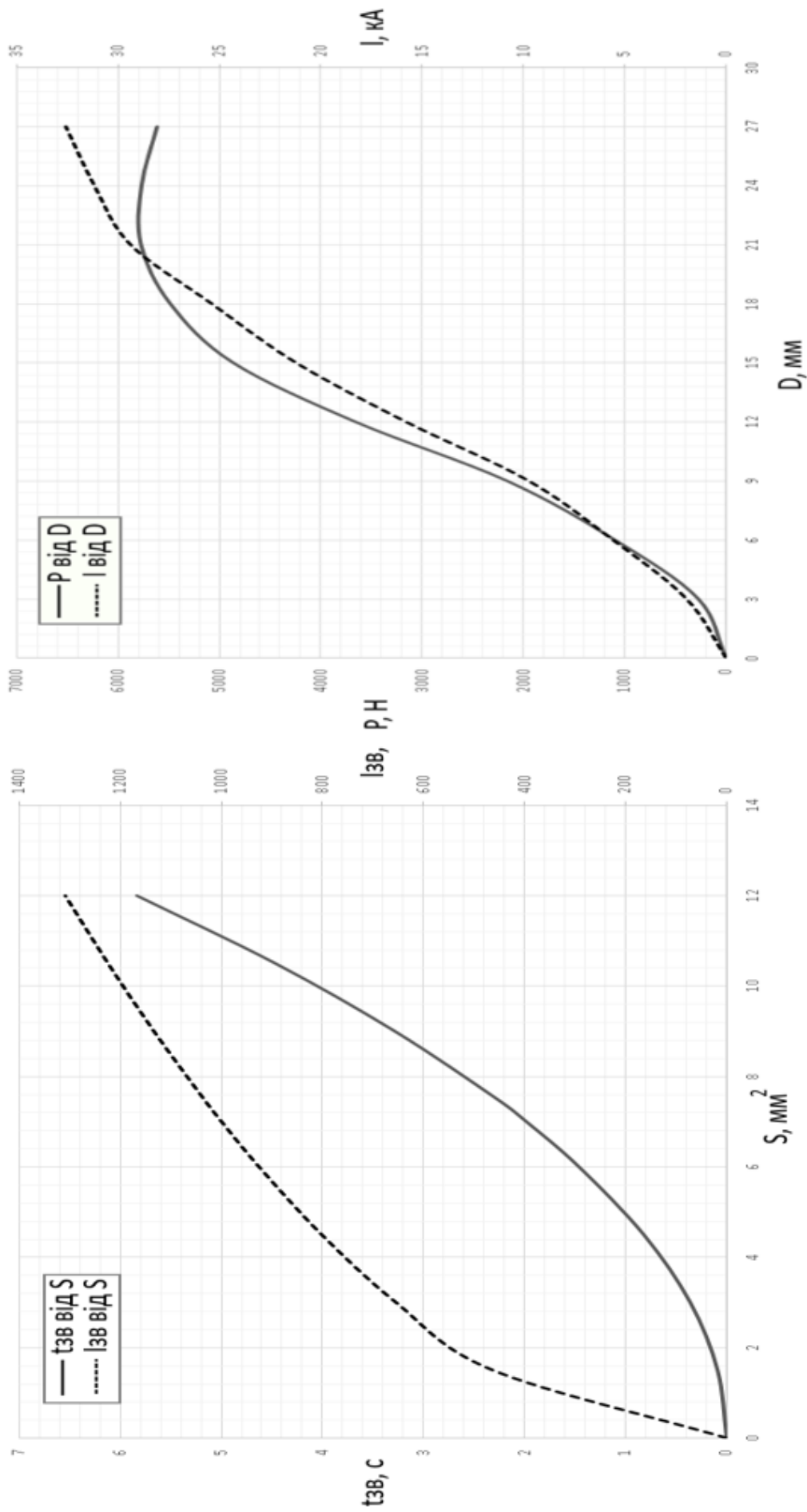
Математична модель зварювальної машини



На першому етапі визначається кількість тепла, що виділяється на одиницю довжини стрижня під час проходження струму протягом часу. Другий етап описує, як тепло, виділене в першому етапі, витрачається на нагрівання стрижня до температури T_1 . Третій етап виражає температуру в будь-якій точці стрижня залежно від параметрів процесу зварювання і властивостей матеріалу

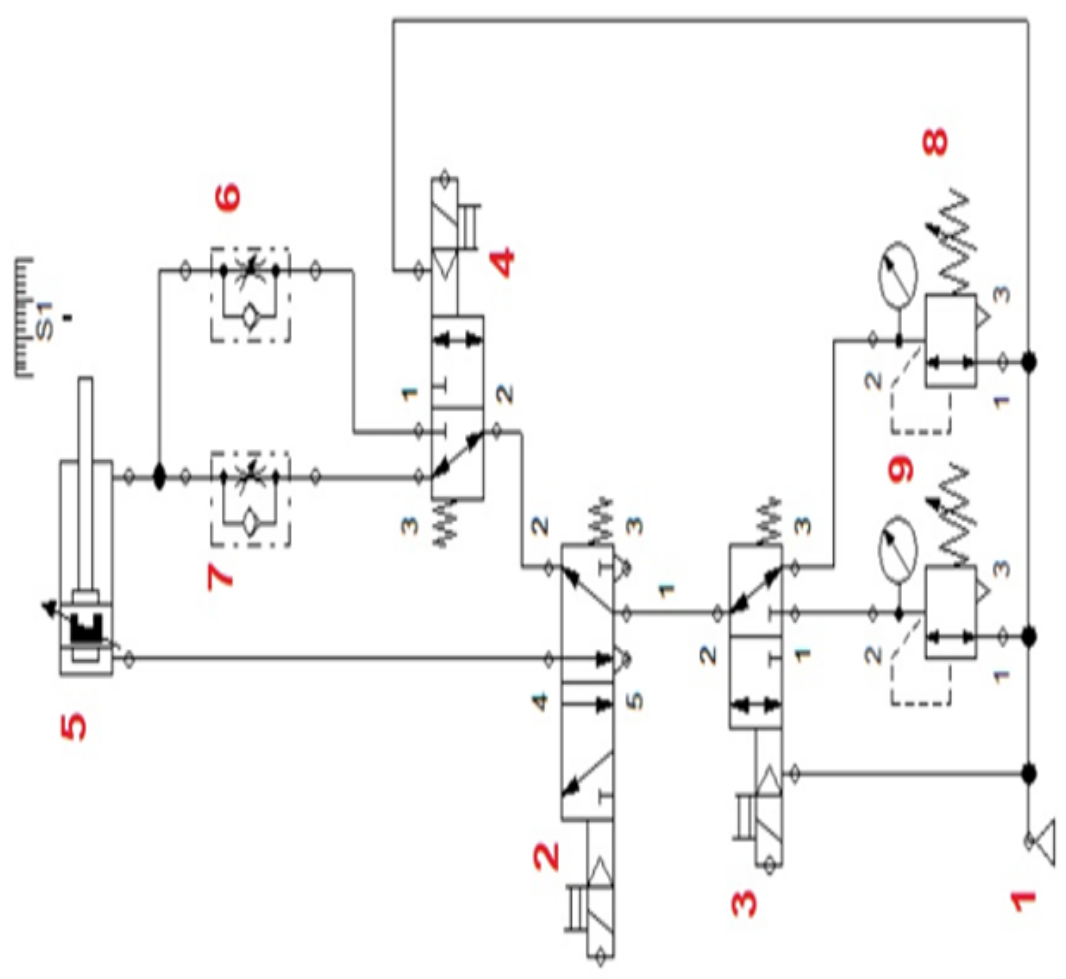
5

Графічні залежності процесу зварювання

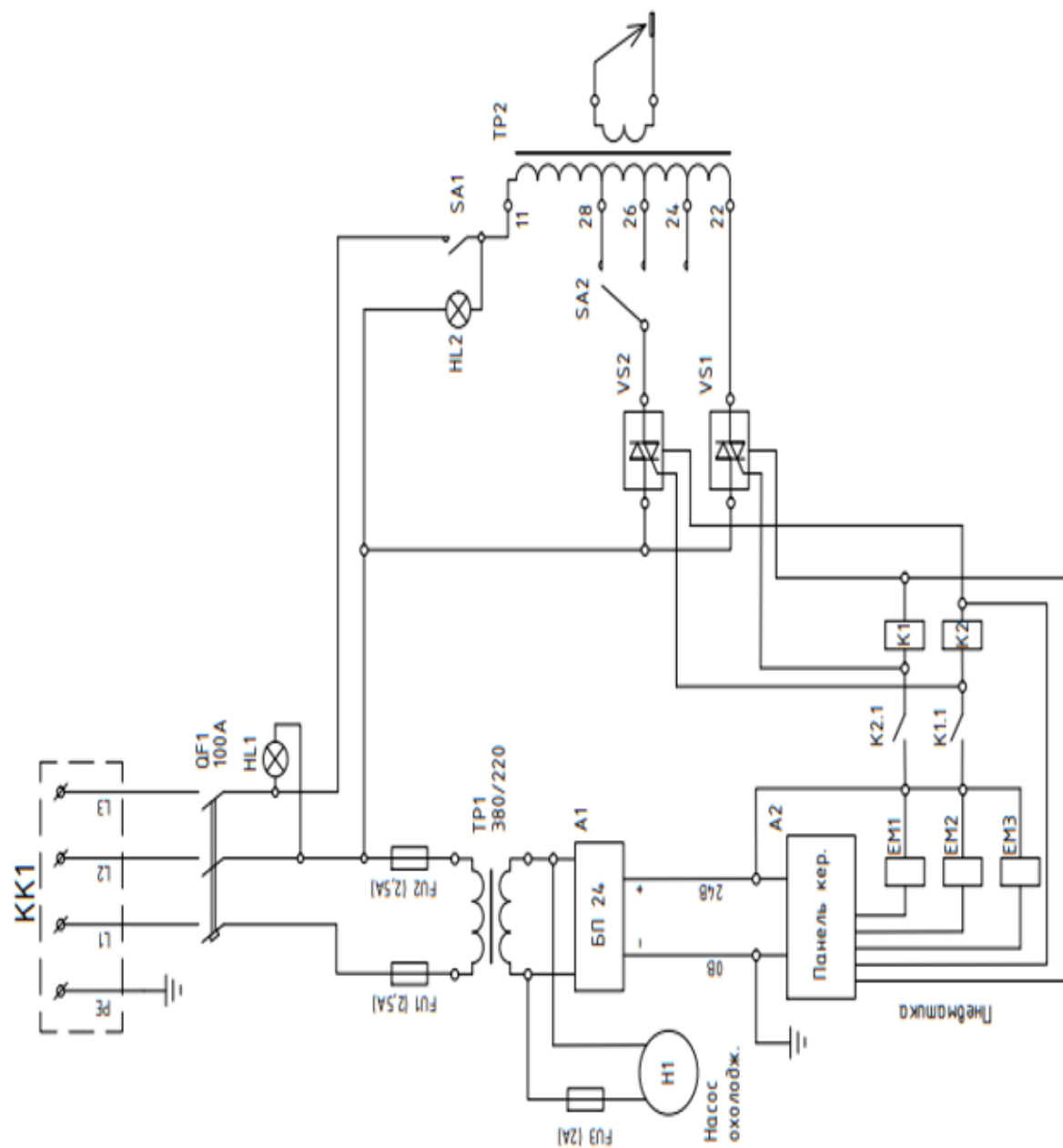


6

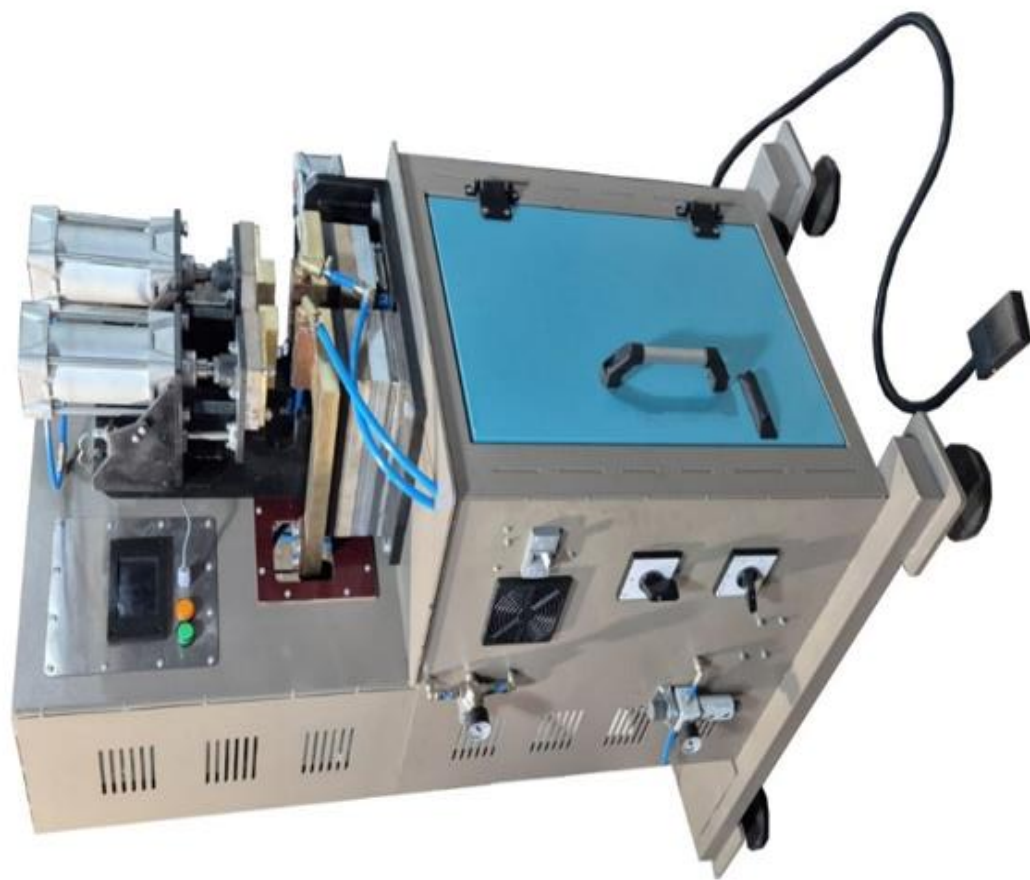
Пневмо-електросистема зварювальної машини



Силовая электрическая схема зварювальної машини



Загальний вигляд машини



9

Результати зварювання до оптимізації та після
оптимізації зварювальної машини



Висновки по роботі

В результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра було розроблено та оптимізовано систему автоматики й силової електроніки для контактної зварювальної машини, призначеної для зварювання чорних металів.

Результати проведення дослідження зразків до та після оптимізації параметрів зварювання показали значне покращення якості зварних з'єднань, зменшення дефектів та відповідність з'єднань вимогам міцності. Оптимізована зварювальна машина демонструє високу ефективність та надійність у процесі контактного стикового зварювання чорних металів.

Додаток Б

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Департамент економічного розвитку, торгівлі та залучення інвестицій
Полтавської обласної військової адміністрації
Полтавська торгово-промислова палата
Університет Флорида (США)
“1 DECEMBRIE 1918” University of Alba Iulia (Румунія)
Блостоцький технологічний університет (Польща)
Вільнюський університет прикладних наук (VIKO) (Литва)
London Metropolitan University (Велика Британія)
Словацький технологічний університет (Словаччина)
Рада молодих вчених Національної академії наук України
Рада молодих вчених Національного університету «Запорізька політехніка»
Рада молодих вчених Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
Рада молодих вчених Національного університету «Чернігівська політехніка»
Рада молодих вчених Національного університету «Одеська політехніка»
Рада молодих вчених Одеського національного університету імені І.І. Мечникова
Рада молодих вчених Ізмаїльського державного гуманітарного університету
Рада молодих вчених Глухівського національного педагогічного університету
імені Олександра Довженка
Рада молодих вчених Сумського національного аграрного університету
Рада молодих вчених Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Рада молодих вчених Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди
Рада молодих вчених Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
Наукове товариство студентів та молодих вчених Хмельницького національного університету
Рада молодих вчених Київського національного університету будівництва та архітектури
Рада молодих вчених Херсонського державного аграрно-економічного університету

МОЛОДІЖНА НАУКА: ІННОВАЦІЇ ТА ГЛОБАЛЬНІ ВИКЛИКИ

ЗБІРНИК ТЕЗ

Міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів та молодих вчених



Полтава, 06 листопада 2024 року

<i>Заніздра Єгор Миколайович</i> АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИКИ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО ВУЗЛА КОРПУСУ.....	512
<i>Zakharchenko Ruslan</i> <i>Scientific advisor: Kryvorot Anatolii</i> THE EFFICIENCY OF USING BIFACIAL SOLAR PANELS	514
<i>Звекова Світлана Миколаївна</i> ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ВІРТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС	516
<i>Євдоченко Олександр Іванович</i> <i>Науковий керівник: Шефер Олександр Віталійович</i> СУЧАСНІ АСПЕКТИ ПОСЛІДОВНОГО ТА ПОРОГОВОГО ДЕКОДУВАННЯ ЗГОРТКОВИХ КОДІВ.....	518
<i>Лобода Євгеній Володимирович</i> <i>Науковий керівник: Трет'як Андрій Валерійович</i> РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИКИ ТА СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ЇЇ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МАШИНИ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ.....	520
<i>Леощенко Сергій Дмитрович</i> БІОІНСПІРОВАНІ МЕХАНІЗМИ ТОНКОГО НАЛАШТУВАННЯ СИНТЕЗУ ДІАГНОСТИЧНИХ НЕЙРОМОДЕЛЕЙ.....	522
<i>Литвиненко Владислав Сергійович</i> РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ІНФОРМУВАННЯ ДЛЯ ЗУПИНКИ- УКРИТТЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	524
<i>Кислиця Дмитро Вадимович</i> <i>Наукові керівники: Кожушко Григорій Мефодійович</i> <i>Кислиця Світлана Григорівна</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ СВІТЛОДІОДНИХ ЛАМП.....	526
<i>Куденко Олексій Олександрович</i> <i>Науковий керівник: Дрючко Олександр Григорович</i> ДЕЯКІ АСПЕКТИ «ЗАВДАННЯ ПРО ПОЛОЖЕННЯ» ДЕЛЬТА-РОБОТА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ НИМ У ПОТОКОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ.....	528
<i>Михайленко Владислав Юрійович</i> <i>Науковий керівник: Єрмілова Наталія Василівна</i> ДОЦІЛЬНІСТЬ РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДІВ У ДУГОВУ СТАЛЕПЛАВИЛЬНУ ПІЧ.....	530

помилки при декодуванні однієї групи призводять до появи кодовому слові нескінченного числа додаткових помилок, то говорять, що у декодері відбувається поширення помилок. Якщо поширення помилок може бути усунуто вибором алгоритму декодування, це явище називають звичайним поширенням помилок. Якщо ж це явище викликається вибором катастрофічного породжуючого полінома згорткового коду, то говорять про катастрофічне поширення помилок. Вибір належної конструкції коду дозволяє уникнути обох цих ситуацій.

Список використаних джерел

1. Бурачок Р.А., Климаш М.М., Коваль Б.В. Телекомунікаційні системи передавання інформації. Методи кодування. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015.
2. Банкет В.Л. Сигнально-кодові конструкції в телекомунікаційних системах. - Одеса: Фешкс, 2009. - 180 с.

УДК 621.3:621.791:681.5

Лобода Євгеній Володимирович

здобувач освіти другого (освітньо-наукового) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Трет'як Андрій Валерійович

кандидат технічних наук, доцент

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

***РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИКИ ТА СИЛОВОЇ
ЕЛЕКТРОНИКИ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ЇЇ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МАШИНИ
КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ***

У сучасному виробництві металевих конструкцій значну роль відіграють методи контактного стикового зварювання чорних металів. Для забезпечення високої якості з'єднання необхідно вдосконалити системи автоматики та силової електроніки, що керують процесом зварювання. Оптимізація параметрів дозволяє зменшити енергоспоживання та підвищити ефективність зварювального обладнання.

Машина контактної стикового зварювання чорних металів застосовуються для створення надійних і міцних з'єднань металевих деталей шляхом нагрівання місця контакту і стискування з'єднуваних частин. Основна мета їх використання полягає в отриманні нероз'ємних з'єднань з високою якістю та однорідністю, що необхідно в різних галузях промисловості, таких як машинобудування, металургія, будівництво та виробництво труб. На рисунку 1 наведено модель машини контактної стикового зварювання.

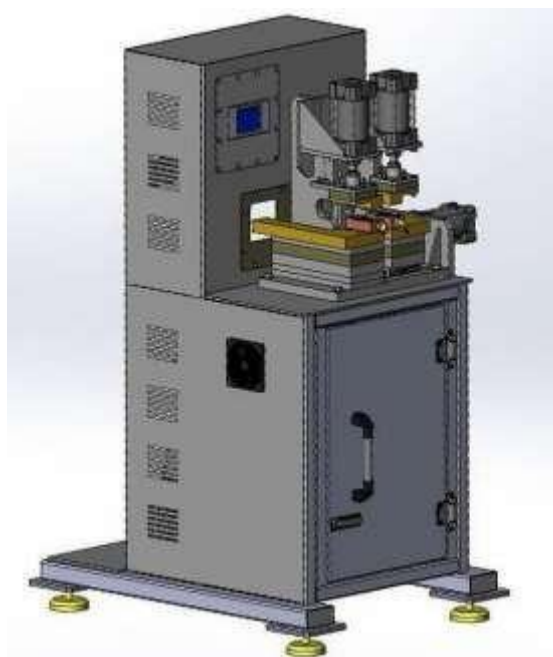


Рис. 1 – Модель машини контактеного стикового зварювання

Контактне зварювання забезпечує мінімальні витрати матеріалу і дозволяє з'єднувати металеві вироби різної форми та розмірів, забезпечуючи економію часу і ресурсів. Такий метод є особливо ефективним для зварювання довгих виробів, наприклад, рейок, труб, дротів і листових матеріалів, де необхідна висока точність і міцність з'єднання. Проектування системи автоматизації передбачає розроблення математичної моделі процесу зварювання для визначення оптимальних параметрів роботи обладнання. Це дозволить адаптувати систему до різних умов експлуатації та властивостей матеріалів, що зварюються, забезпечуючи стабільність і якість процесу. Оптимізація системи силової електроніки передбачає вибір відповідних компонентів, а також точне керування електричними параметрами. Важливо забезпечити високу точність управління, щоб уникнути дефектів зварного шва, таких як тріщини або неповне проплавлення.

Таким чином, розроблення автоматизованої системи з оптимізацією параметрів силової електроніки для контактеного зварювання чорних металів сприятиме підвищенню якості виробництва, зменшенню енергетичних витрат та підвищенню продуктивності в промислових умовах.

Список використаних джерел

3. Любич О.Й., Радзівський В.М., Будник А.Ф. Обладнання і технологія зварювального виробництва: навч. посіб. Суми: СумДУ, 229 с.
4. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулля, 2011. – 344с.
5. Вікіпедія. Стикове зварювання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Стикове_зварювання

Додаток В

Переклад 1 розділу англійською мовою

CHAPTER 1 ANALYTICAL PART

1.1 Overview of machines available for contact welding

Contact welding is a method of joining metal parts by passing an electric current through the contact between them, which leads to their heating and fusion. There are several types of equipment for this type of welding, each of which is used for a specific task or material.

The main types of equipment for contact welding:

1. Machines for spot welding

These machines are used for spot welding on sheet materials. They are widely used in the automotive, steel and electronic industries.

Main types:

- Handheld devices- used for small works or repairs. They are easy to maintain, mobile, but less productive than industrial counterparts.
- Semi-automatic systems- suitable for serial production. The welding process is partially automated, which increases the speed and accuracy of operations.
- Fully automated machines- used in large factories where it is necessary to weld a large number of points at the same time with minimal human intervention.



Figure 1.1 – Equipment for contact and spot welding

2. Seam welding machines

These machines are used for continuous welding in lines, for example to seal metal casings or tanks. The electrodes of these machines are in the form of rollers and move along the seam to perform continuous welding.

Main types:

- Machines with roller electrodes is the main type of equipment for this process. The rollers rotate and compress the parts, providing welding along the line.
- Automated lines- used for the production of large volumes of products with high requirements for the accuracy and tightness of the seam, for example, in the production of pipes or fuel tanks.



Figure 1.2 – Seam welding machine

3. Butt machines for contact welding

This type of equipment is used to connect the ends of metal rods and pipes. Electric current heats the metal at the joint, and mechanical pressure causes the materials to fuse. These machines are often used to connect rails, pipelines and cables.

Main types:

- Hydraulic and mechanical joint machines- allow welding under high pressure, ensuring a high-quality connection without defects.
- Manual devices for welding small parts - used for welding wires or small elements in the electrical industry.



Figure 1.3 – Contact butt welding machine

4. Machines for project welding

Design welding allows you to create connections at several points at the same time. In such machines, the current is supplied through special protrusions (projects) on one of the parts that are connected. This is useful for production where it is necessary to weld several points at the same time, for example in the manufacture of radiators.

Main types:

- Machines with moving electrodes- provide the possibility of welding in hard-to-reach places. Such devices allow you to move the electrodes so that they reach the desired areas on the parts to be welded. They are often used in the production of complex structures, for example, in the automotive industry.
- Machines with computer control- modern installations that allow you to program the welding process with high accuracy. They ensure the stability of welding parameters (current, time, pressure) for each point, which is critically important for complex technological operations.



Figure 1.4 - Welding kit

1.2 Additional equipment for contact welding

Additional equipment for contact welding plays an important role in ensuring the efficiency, safety and stable operation of the main welding system. In addition to basic welding machines, such as spot, seam and butt welding machines, contact welding systems have additional equipment to improve the quality of welding and extend the life of the equipment. Let's consider these components in more detail.

1. Welding transformers

Transformers are an important element of contact welding, as they convert the input voltage of the network into the current required for welding. A high current of low voltage is necessary to reach the melting temperature of the metal at the point of contact.

Types of welding transformers:

- Direct current (DC)- provide stable current transmission, which is important for high-quality welding, especially when working with metals of different thicknesses.
- Alternating current (AC)- less stable, but simpler and cheaper to manufacture. Used in equipment for simple tasks.

Transformers allow you to control the duration and intensity of the current supplied to the electrode, which is important to ensure the accuracy and quality of the weld. They have overheating protection and are adjustable for precise power control depending on the thickness and type of metal.

2. Electrodes

An electrode is an element that is in direct contact with metal and passes current. The shape and material of the electrode determine the efficiency and quality of the welding process.

Types of electrodes:

- Cylindrical– for spot welding.
- Roller - for seam welding.
- Profiled electrodes– for specialized tasks, for example, for projection welding.

Electrodes are made of copper and its alloys.

Copper- the most common material due to high electrical conductivity and heat dissipation.

Copper alloys- to increase wear resistance and increase the service life of electrodes (for example, chrome-copper or tungsten-copper alloys).

Electrodes must be heat-resistant to withstand high temperatures without deformation. During welding, the electrode gradually wears out, so it must be regularly checked and replaced.

3. Cooling systems

Cooling is an important element in maintaining the performance of welding equipment, especially at high loads. During contact welding, a large amount of heat is released, which can lead to overheating of electrodes and welding equipment.

Types of cooling systems:

- Water cooling- the most common cooling system. Water circulates through the electrodes and other components to dissipate heat.
- Air cooling– used in less powerful systems or in cases where the equipment does not work at constant high loads.

Cooling systems help maintain a stable temperature of the electrodes and welding equipment, extending the life of the equipment and ensuring consistent welding quality. Cooling is also necessary to prevent overheating and unwanted deformation of the metal during welding.

4. Devices for controlling and controlling welding parameters

Modern welding equipment is equipped with automatic control systems that can precisely adjust welding parameters such as current strength, welding time and pressure on the parts.

The main components of the control and automation system:

- Current controllers- allow you to adjust the current depending on the type and thickness of the metal.
- Timers- are responsible for the duration of the current supply and the welding cycle, which is important for obtaining a reliable connection.
- Pressure sensors- monitor the pressure force applied to the parts during welding to avoid defects or deformations.
- Programmable logic controllers (PLC) allow to fully automate the process, especially on large production lines.
- Interfaces for remote control– provide the ability to control and configure the equipment through a computer or other devices.

The automation system allows you to automate the welding process for different types of metals and settings, increasing productivity and reducing errors.

1.3. Methods of contact welding, principle of action, advantages, application

Contact welding encompasses several different methods, each designed for specific types of joints and different materials.

The main methods of contact welding:

1. Spot welding

Spot welding is one of the most common methods of contact welding. It is used to connect sheet metal by creating separate points for welding. Depending on the position of the electrode in relation to the part being welded, spot welding can be two-sided or one-sided.

Multi-spot contact welding is a type of spot welding in which several spots are welded in one cycle. Multi-point welding works on the principle of one-sided spot welding. Multi-spot welding machines have from one to 100 pairs of electrodes each and can weld from two to 200 points simultaneously.

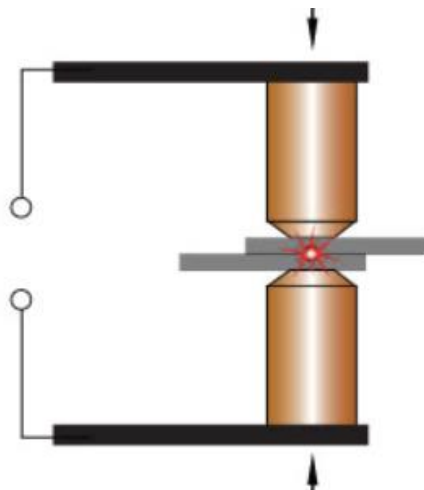


Figure 1.5 - Spot welding

Two metal parts are pressed between two electrodes. A high density current is passed through the electrodes. The current passes through the contact between the metals, where the metal is locally heated and melted. After the termination of the action of the current under the influence of mechanical pressure, the liquid metal connects the parts, forming a strong weld. The advantages of this method are speed, reliability, the ability to weld ultra-thin parts and the possibility of full automation. Also, this method does not require highly qualified personnel.

Spot welding is often used in the automotive industry, for example, to connect car body parts and household appliances (refrigerators, washing machines). It is also used in industries where it is important to quickly and reliably connect thin sheets of material, for example, in the production of metal furniture and electronic equipment.

2. Seam welding

Seam welding is a type of spot welding, but differs in that the welding points overlap each other to form a continuous sealed seam. For this, rotating roller electrodes are used.

The main methods of seam welding:

Continuous seam welding.

Continuous seam welding is performed by pressing the roller against the part to be welded with constant pressure and supplying a constant welding current throughout the welding process. The disadvantages of this method are increased requirements for surface preparation, uniformity, thickness and chemical composition of the metal of the part being welded.

Intermittent welding with continuous rotation of rollers.

Also carried out with a constant compression force, the welding current is applied cyclically, and the welding seam is formed with overlapping welding points. The quality of the seam improves.

Intermittent welding with periodic rotation of rollers.

With this method, the circle is closed at the moment the rollers stop (step welding). This method gives welds of the highest quality, since the welding point is formed under static pressure. However, machines for this method of welding are more complex and less productive.

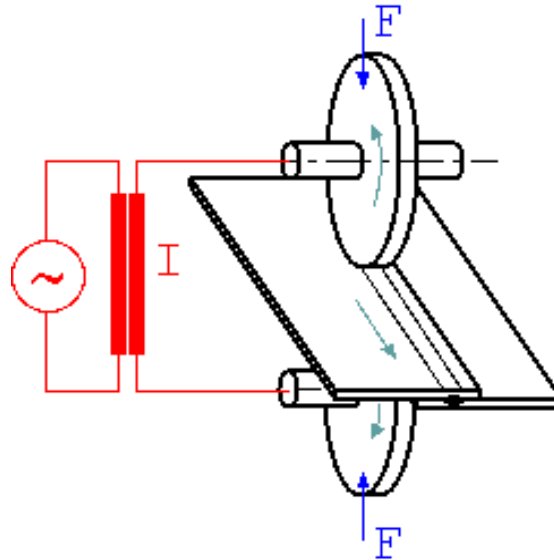


Figure 1.6 – Scheme of seam contact welding

The metal part is clamped between roller electrodes. During the current supply, the rollers gradually move along the welding line, forming welding points. The welding points are superimposed on each other, forming a strong, hermetic seam. The welding current heats and melts the metal at the joint, as in spot welding.

The seam welding process is carried out using special welding machines. The thickness of the sheet to be welded is from 0.2 to 3 mm. Seam welding is mostly performed with external water cooling, which reduces overheating of the outer metal layer. The advantages of this method include ensuring a strong and hermetic seam.

Seam welding is used wherever airtight connections are required, for example, in aircraft construction, production of fuel tanks, metal and liquid containers, radiators and other heat engineering equipment.

3. Butt welding

Butt welding is used to connect the ends of two metal parts along the entire length of the joint. This method connects rods, rails, pipes and wire.

This method is divided into fusion welding and resistance welding.

During resistance welding, the end surfaces of the workpieces are processed, the workpieces are pressed against each other and current is applied. After heating the metal to a plastic state, the axial force increases at the point of contact. Plastic deformation takes place at the joint, and the joint is formed without melting the metal. With this method, the heating of parts with a large section is not always uniform over the entire surface, and it is often not possible to remove the oxide film at the joint. Therefore, resistance butt welding is used only for connecting parts of a small cross-section (up to 200-300 mm²): wire, pipes and rods made of low-carbon steel.

In contact fusion welding, the welding transformer is turned on, and the parts are pressed together with little force. Individual surface contacts are instantly melted and new contacts are formed, which are also melted.

Under the influence of electrodynamic forces, a liquid layer of metal is ejected from the joint together with oxides and impurities from the molten contact. The surface gradually melts, after which there is a rapid increase in the compressive force - precipitation occurs. At the same time, current continues to flow through the connection for 0.1 s. Hard metal together with residual oxides is displaced from the joint zone in lattice—the connection is formed between solid but plastic surfaces. During reflow welding, the chemically active zone of the metal in the joint is protected by an inert gas.

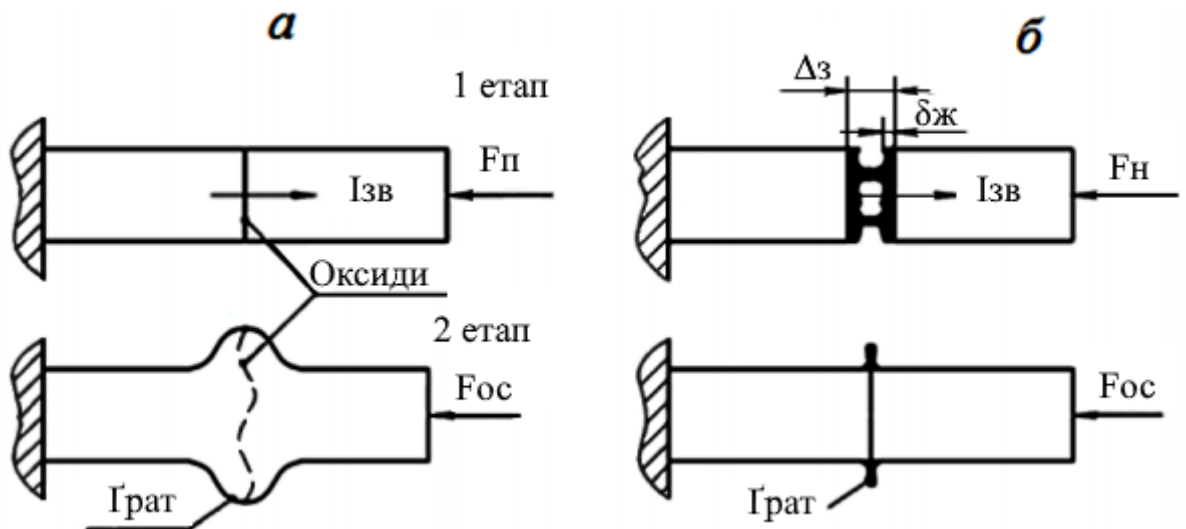


Figure 1.7 – Stages of joint formation during butt welding:

a – resistance; b - remelting

Butt welding by resistance and reflow occurs according to a single scheme consisting of two stages:

- heating the ends of parts.
- sediment (Fig. 1.7).

The first stage:

- In resistance butt welding (Fig. 1.7 a), the nature of the process is similar to the first stage of spot welding until the moment of metal melting at the part-part contact: preliminary compression by force (initial pressure), heating of the contact surface during the supply of welding current, reduction of resistance to plastic deformation, deformation of the contact zone, reduction of contact resistance part - part. $F_{п}$
- In fusion butt welding (Fig. 1.7, b), the heating of the contact zone occurs as a result of melting and destruction of the local bridges that are formed, with the closing of the contact surfaces of the parts (the contact of micro-uniformities in the gap - between the parts) at a certain speed, up to the formation of a layer of molten metal thickness at the ends. $\Delta_3 \delta_{ж}$

The second stage both resistance welding and fusion welding involve significant deformation of the heated surfaces as a result of a sudden increase in the compressive strength of the joining surfaces, i.e. F_{oc} .

The conditions under which interatomic bonds are formed at the second stage as a result of plastic deformation during deposition during resistance welding and fusion welding differ and depend on the state of the contact surface.

The advantages of butt welding include the accuracy and strength of the joints, the popping efficiency, the quick connection, which leads to saving time.

Butt welding is often used to join railway rails, pipelines, electrical cables and wires. It is also widely used in the production of metal structures and mechanical engineering.

4. Projection welding

Projection welding is a special method of connecting several points at the same time using protrusions ("projections") on one of the parts. Welding is carried out by compressing the protrusions and applying an electric current through these protrusions.

Projection welding differs from other methods of contact welding in several important features:

- Local heating. Pre-prepared protrusions generate heat exactly at the point of contact, thanks to which even thick parts can be welded without overheating the entire structure.
- Simultaneous welding of several points. Connecting several points at the same time significantly increases the productivity of the process and shortens the welding time.
- Deformation reduction. Because the heat is localized, deformation due to welding is less, which is important when working with precision parts.

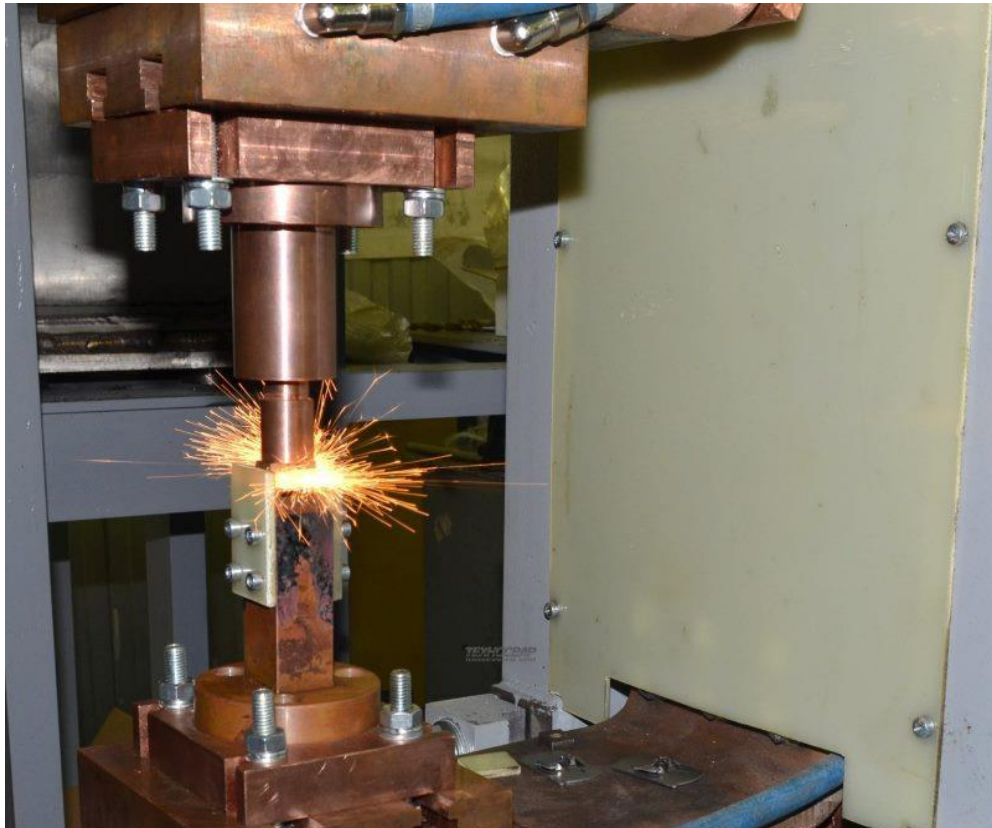


Figure 1.8 – Relief (projection) welding

One of the parts has a special protrusion (projection) through which the current passes. The protrusion is heated to the melting point, forming a welding point. Then the metal parts are compressed and the protrusions melt, forming a strong connection simultaneously in several points.

Projection welding is used to join metal parts that have projections for welding, such as bolts, nuts and fasteners. It is often used in the mass production of automotive parts, household appliances and electronic components.

Conclusion: In the course of the first chapter, an analysis of existing machines for contact welding was carried out, methods for contact welding were considered, their advantages and applications were analyzed.

Each method of contact welding has its own unique characteristics, which makes it effective for different industries:

- Spot welding suitable for sheet metals and mass production.
- Seam welding provides a continuous seam for hermetic structures.
- Butt welding irreplaceable when connecting pipes, rails and rods.
- Projection welding ideal for mass connection of small metal elements.

Special attention should be paid to contact butt welding, where it is important to take into account such parameters as the force of the weld, welding time, feeding force, shrinkage dimensions and details. Therefore, the next section will be devoted to mathematical modeling and optimization of these parameters, which will help improve welding quality and production efficiency.