

Міністерство освіти і науки України
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

В. о. завідувача кафедри,
канд. фіз.-мат. наук, доцент

_____ Я. М. Крайник

« __ » _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Апаратно-програмний комплекс для автоматизованого зварювання
металевих деталей**

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

123 – КР.1 – 405.21810515

Студент: _____ В. А. Луценко
« __ » _____ 2022 р.

Керівник: _____ В. В. Старченко
« __ » _____ 2022 р.

Миколаїв 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

канд. техн. наук, доцент

_____ Я.М. Крайник

« ___ » _____

2022р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Видано студенту групи 405 факультету комп'ютерних наук

Луценко Володимир Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Апаратно-програмний комплекс для автоматизованого зварювання металевих деталей

Затверджена наказом по ЧНУ від «__» _____ 2022 р. No _____

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «___» _____ 2022 р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні
Очікуваний результат роботи буде залежати від коректних розрахунків та вірності їх.

4. Перелік питань, що підлягають розробці

Проаналізувати існуючі варіанти інструментів для розробки та вибрати стек технологій для реалізації апаратного-програмного комплексу.

5. Перелік графічних матеріалів

1. Класифікація збурень у зварювальному контурі.

2. Структура зварювального контуру.
3. Схема аеродинамічного каналу у ванні та процесів, що протікають у ньому.
4. Переміщення зварювального пальника при зварюванні деталей з криволінійною утворюючою у вертикальній площині.
5. Подвійний поворотний позиціонер.
6. Маніпулятор KR 16 ARC HW.

6. Завдання до спеціальної частини:

Проведення оцінки умов праці, а саме аналіз виробничого приміщення, оцінка природнього освітлення. Визначення порядку дій під час пожежі, а також розгляд плану евакуації підприємства.

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
ст. викладач А. О. Алексєєва	кафедра екології Медичного інституту ЧНУ ім. Петра Могили	спеціальна частина з охорони праці

Керівник роботи _____ старший викладач Старченко В.В _____

(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Завдання прийнято до виконання _Луценко Володимир Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

(підпис)

Дата видачі завдання «_____» _____ 20_____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН виконання кваліфікаційної роботи

Тема: Апаратно-програмний комплекс для автоматизованого зварювання металевих деталей

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання КР	27.02.2022	20.03.2022	Виконано
2	Огляд літератури за темою роботи	21.03.2022	25.04.2022	Виконано
3	Складання календарного плану КР	26.04.2022	29.04.2022	Виконано
4	Аналіз предметної області	01.05.2022	06.05.2022	Виконано
5	Розробка проєктних рішень	07.05.2022	14.05.2022	Виконано
6	Початок розробки	15.05.2022	02.06.2022	Виконано
7	Перевірка виконаного завдання	03.06.2022	05.06.2022	Виконано
8	Відгук керівника КР	06.06.2022	07.06.2022	Виконано
9	Оформлення КР та презентації	08.06.2022	12.06.2022	Виконано
10	Попередній захист	13.06.2022	13.06.2022	Виконано
11	Рецензування	14.06.2022	16.06.2022	Виконано
12	Завершення оформлення КР та презентації	17.06.2022	25.06.2022	Виконано
13	Захист кваліфікаційної роботи	27.06.2022	28.06.2022	Виконано

Розробила студент ___Луценко Володимир Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

«__» _____

2022р.

Керівник роботи ___ старший викладач: В. В Старченко _____

(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

«__» __ 2022 р.

АНОТАЦІЯ

бакалаврської роботи

«Апаратно-програмний комплекс для автоматизованого зварювання металевих деталей»

Студент: Луценко В. А.

Керівник: Старченко В. В.

Бакалаврська робота присвячена розробці апаратно-програмного комплексу для автоматизованого зварювання металевих деталей. Практичне значення результатів дослідження та розроблення полягає у можливості їх використання на заводах для виготовлення корпусів машин та будь-якої галузі де потрібні зварювальні роботи.

Пояснювальна записка бакалаврської роботи складається зі вступу, трьох розділів, висновків. У вступі визначається актуальність теми, сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження та розроблення бакалаврської роботи.

Перший розділ це аналітична частина в якій досліджуються умови автоматизації та аналіз збурювальних впливів при зварюванні.

У другому розділі проводиться розрахункова частина, а саме розрахунок об'єктів регулювання за різними способами зварювання та орієнтація електрода по стику при аргонодуговому зварюванні криволінійних поверхонь.

У третьому розділі наведено апаратно-програмне забезпечення, а саме який потрібний маніпулятор, позиціонер, система управління. Наведено аргументи чому саме потрібні ці інструменти для реалізації роботи.

В цілому, бакалаврська робота без додатків містить 58 сторінок, 18 рисунка, 1 таблиця, 24 джерела посилання.

Ключові слова: зварювання, металеві деталі, виявлення дефектів, вибір системи, аналіз умов.

ABSTRACT

of the Bachelor's Thesis

" Hardware and software complex for automated welding of metal parts"

Student: Lutsenko V. A.

Consultant: Starchenko V. V.

The bachelor's thesis is devoted to the development of hardware and software for automated welding of metal parts. The practical significance of the results of research and development is the possibility of their use in factories for the manufacture of machine housings and any industry where welding is required.

The explanatory note of the bachelor's thesis consists of an introduction, three sections, conclusions. The introduction determines the relevance of the topic, formulates the purpose, object, subject and objectives of research and development of the bachelor's thesis.

The first section is the analytical part in which the conditions of automation and the analysis of disturbing influences at welding are investigated.

In the second section, the calculation part is performed, namely the calculation of the objects of regulation by different welding methods and the orientation of the electrode at the joint in argon arc welding of curved surfaces.

The third section presents the hardware and software, namely the required manipulator, positioner, control system. Arguments are given as to why these tools are needed to implement the work.

In total, the bachelor's thesis without appendices contains 58 pages, 18 figures, 1 table, 24 reference sources.

Keywords: welding, metal parts, defect detection, system selection, condition analysis.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. Аналітична частина	11
1.1 Аналіз умов автоматизації.	11
1.2 Аналіз збурювальних впливів при зварюванні.	13
Висновки до першого розділу	17
Розділ 2. Розрахункова частина	18
2.1 Характеристики об'єктів регулювання за різних способів зварювання	18
2.2 Системи орієнтації електрода по стику при аргонодуговому зварюванні криволінійних поверхонь	27
Висновки до другого розділ	38
Розділ 3. Апаратно-програмне забезпечення системи	39
3.1 Розробка роботизованого процесу	40
3.2 Вибір технологічного та допоміжного обладнання	41
3.2.1 Вибір маніпулятора	42
3.2.2 Вибір позиціонера	45
3.2.3 Вибір системи управління	47
3.3 Планування РТК	52
3.4 Схема системи керування РТК	53
3.5 Вибір способів юстування та калібрування роботи	56
ВИСНОВОКИ	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	58

Вступ

Останніми роками зварювання дедалі більше використовують у різних галузях машинобудування, у будівництві, на транспорті, в енергетиці, розробляють нові та вдосконалюють відомі методи зварювання, розширюють перелік матеріалів, що зварюються, номенклатуру виготовлених за допомогою зварювання виробів. У разі виробництва без широкого застосування автоматики, теорії та техніки автоматичного регулювання неможливо отримати зварні з'єднання високої якості.

У розв'язанні задачі автоматизації потрібний комплексний підхід до проблеми. Це означає, що справжній прогрес зварювального виробництва можливий тільки в тому випадку, якщо при використанні автоматики буде вирішено весь комплекс завдань автоматизації основних, заготівельних, транспортних, зварювальних та оздоблювальних операцій.

Автоматика збільшує продуктивність праці, підвищує ефективність технологічних процесів, покращує якість продукції, підвищує точність, скорочує чисельність обслуговуючого персоналу. Праця робітника в умовах механізованого та автоматизованого виробництва більш продуктивна, внаслідок чого зменшується кількість браку.

Автоматизація процесу зварювання означає повне переведення зварювального обладнання на автоматичний режим роботи, впровадження у виробництво пристроїв, що діють частково або повністю без участі людини.

При механізованому процесі незалежно від ступеня його механізації робітник частково чи повністю звільняється лише від виконання м'язових зусиль, але весь час безпосередньо приймає участь в самому процесі.

Автоматизація – вища форма механізації. Вона характеризується звільненням людини частково чи повністю також від оперативного управління механізмами, від його постійної участі у процесі.

Автоматичні регулятори або системи підтримують незмінними або змінюють певні фізичні величини в технічному пристрої або технологічному процесі.

Останніми роками застосовують промислові роботи-автомати, що характеризуються різноманітністю виконуваних операцій, значною мобільністю при мінімальному втручанні людини (налагодження).

Актуальність теми: Підвищення вимог до якості з'єднання деталей у сучасних промислових продуктах обумовлює усунення людського фактору з процесу виробництва та перехід до повністю автоматизованих технологій. Однією з головних технологій з'єднання деталей є їх зварювання.

Мета і завдання дослідження: Розробити демонстраційну модель апаратно-програмного комплексу для автоматизованого зварювання металевих деталей які мають складний профіль з'єднання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз рішень, що існують для систем автономної автоматизованого зварювання металевих деталей які мають складний профіль з'єднання;
- за результатами аналітичного огляду літератури та патентної інформації визначити загальне компонування розроблюваної системи;
- розробити інформаційну модель системи;
- визначити протоколи та інтерфейси системи;
- розробити алгоритм роботи системи, навести блок-схему та дати опис;
- оглянути наявну елементну базу та обрати найбільш оптимальні компоненти для реалізації розроблюваної системи;
- розробити демонстраційну модель апаратно-програмного комплексу для автоматизованого зварювання металевих деталей;

- розробити програмне забезпечення мікроконтролера апаратно-програмного комплексу для автоматизованого зварювання металевих деталей.

Об'єкт дослідження: методи автоматизованого зварювання металевих деталей які мають складний профіль з'єднання.

Предмет дослідження: система мікроконтролерного керування автоматизованим пристроєм для зварювання металевих деталей.

Методи дослідження: Під час виконання роботи були використані методи математичного та технічного моделювання, а також програмування для вбудованих систем реального часу.

Практичне значення одержаних результатів: розроблена інформаційна модель системи автоматизованого зварювання металевих деталей які мають складний профіль є основою для побудови економічно-вигідного та конкурентоспроможного промислового зразку.

Особистий внесок здобувача: Робота є самостійно виконаною працею. Усі результати, що викладені у даній роботі, були отримані автором особисто.

Розділ 1. Аналітична частина

1.1. Аналіз умов автоматизації.

Комплексну автоматизацію зварювання в загальному випадку можна розглядати як сукупність вирішення двох завдань:

1. орієнтованого руху робочого органу (електродів, дуги, променя) по заданій просторовій траєкторії, забезпечення необхідного циклу зварювання та закону управління технологічними параметрами (швидкістю зварювання, силою струму, напругою на електроди, швидкістю роками дроту і т.д.) у функції різних технологічних збурень;
2. механізації та автоматизації підготовчих зварювальних та транспортних операцій.

Завдання 1 стосується автоматизації власне процесу зварювання та становить предмет розгляду цієї роботи. Особливості цього завдання: необхідність вивчення властивостей технологічного об'єкта регулювання кожного способу зварювання з метою побудови розрахункових моделей; визначення критеріальних фізичних і геометричних параметрів об'єкта найбільш повно характеризують якість зварного з'єднання, розробка способів вимірювання критеріальних параметрів у процесі зварювання; дослідження на моделях зварювального контуру спільно з джерелом живлення; розробка замкнутих систем автоматичного регулювання різних критеріальних параметрів об'єкта.

Складність розв'язання задачі 1 обумовлена необхідністю обліку при побудові розрахункових моделей фізичних процесів, що відбуваються у зварювальному контурі (електричних, електромагнітних, теплових, механічних, гідродинамічних, радіаційних). Через зміни параметрів процесу у часі та залежність фізичних констант від зовнішніх умов, нелінійності характеристик процесу не завжди вдається описати його простими диференціальними рівняннями. Спроби застосування для опису технологічного процесу зварювання відомі теоретичні положення

математичної фізики, теоретичної гідромеханіки, електротехніки, теорії поля, теорії теплопередачі призводять до отримання нелінійних диференціальних рівнянь, що містять частинні похідні і змінні в часі коефіцієнти. Вирішення таких рівнянь важко навіть з використанням цифрових обчислювальних машин. Тому в інженерній практиці для отримання математичних моделей процесу широко використовують положення теорії ймовірності та математичної статистики. На основі цих теорій розроблено методи ідентифікації об'єкта, сутність яких зводиться до статистичного аналізу записаних у ході технологічного процесу реалізацій вхідних та вихідних параметрів об'єкта регулювання.

Іноді, при низькому рівні збурень, можна спростити розв'язання задачі 1, розглядаючи їх у приростах щодо номінальних параметрів процесу. Рівняння, що описують динаміку процесів в об'єкті регулювання, у цьому випадку можуть бути зведені до лінійних диференціальних рівнянь із постійними коефіцієнтами. Процедура аналізу та синтезу необхідної структури системи автоматичного управління процесом спрощується.

Кінцевою метою розв'язання задачі є побудова системи автоматичного регулювання або управління параметрами процесу зварювання. Ефективність роботи цих систем залежить від рівня механізації та автоматизації підготовчих, складальних та транспортних операцій (завдання 2). Таким чином, розв'язання задачі 2 повністю корелює з розв'язанням задачі 1. Воно дозволяє покращити якість складання стику під зварювання, підвищити точність позиціонування деталі під електродами, а отже, знизити рівень збурень у зварювальному контурі. З'являється можливість вписати автоматичний процес зварювання в ритм роботи технологічної лінії, автоматизувати операції пошуку стику, запалення дуги, управління власне процесом зварювання та його закінченням.

Завдяки автоматизації зварювальник може виконувати високоякісні шви, адже сам процес зварювання відбувається автоматично (автоматичне

регулювання, керування параметрами процесу зварювання, точність зварювання, регулювання зварювальної дуги тощо), єдине в чому полягає робота зварювальника так це в початковій підготовці виробу до зварювання та налаштування апаратури. Завдяки автоматичному зварюванню також підвищується обсяг випуску готової продукції.

1.2. Аналіз збурювальних впливів при зварюванні.

Процес зварювання, як і будь-який інший процес, протікає у тісному взаємозв'язку з навколишнім середовищем. Зміни у навколишньому середовищі викликають зміни у характері процесу зварювання. У автоматичності такий процес називають збуренням. Збурення можуть призвести до відхилення властивостей зварного з'єднання від потрібних, тобто. до появи неприпустимих дефектів у зварному шві.

Різні за фізичною природою збурення прикладені в різних точках зварювального контуру джерело - дуга - виріб, тому вплив одних збурень на процес зварювання може бути ослаблений або відносно легко усунутий шляхом їх вимірювання та компенсації, усунення інших - ув'язаний з певними труднощами.

Наприклад, вплив збурень, що впливають на ланцюг джерело - зварювальна дуга (коливання напруги мережі, зміна довжини дуги і т.д.), порівняно просто усунути за допомогою систем автоматичної стабілізації параметрів режиму зварювання: зварювального струму, напруги на дузі, швидкості зварювання, швидкості подачі присадного дроту і т.д. Подібні системи у різних виконаннях запроваджено у промисловості. Застосування їх стабілізує енергетичні параметри зварювальної дуги та, отже, її теплову потужність.

Значно складніше компенсувати вплив збурень, що додаються до ланцюга електрод-деталь; вплив їх послаблюється з допомогою систем автоматичної стабілізації параметрів режиму зварювання.

З деякими припущеннями ці збурення умовно можна поділити на дві групи: конструктивні та технологічні. Конструктивні збурення зумовлені конструктивними особливостями зварного з'єднання. Вони виникають при розміщенні отворів або припливів у безпосередній близькості стику, зміні товщини металу, що зварюється, рознесеності деталі і т.д. Вплив конструктивних збурень виявляється у зміні умов теплопередачі та перерозподілі теплової потужності зварювальної дуги між деталлю та навколишнім середовищем.

Технологічні збурення виникають в основному при не точностях у складання стику, що призводять до зміни зазору між зварюваними кромками, форми і розмірів оброблення кромки, зміщення кромки, зміни ступеня прилягання форми підкладки по довжині стику. Крім того, до цих збурень можна віднести ерозію електрода, зміна структурної та хімічної однорідності матеріалу, що зварюється, зміна якості захисного середовища, наявність технологічних прихваток по довжині стику. Технологічні збурення переважно мають випадковий характер. Вони найчастіше з'являються через недосконалість складальних пристосувань та технологічного оснащення.

Конструктивні та технологічні збурення важко контролювати у процесі зварювання. Для вимірювання їх потрібні спеціальні датчики, що працюють за різними фізичними принципами.

При відпрацюванні за допомогою САР конструктивних і технологічних збурень необхідно враховувати їхню симетрію щодо стику, що зварюється. Вплив симетричних збурень (наявність у виробництві зварюваних отворів, симетрично розташованих відносно стику) можна усунути за допомогою САР з одним регулюючим впливом. Таким впливом може бути, наприклад, зварювальний струм, зміною якого забезпечується стабілізація ізотерми температурного поля у зоні стику.

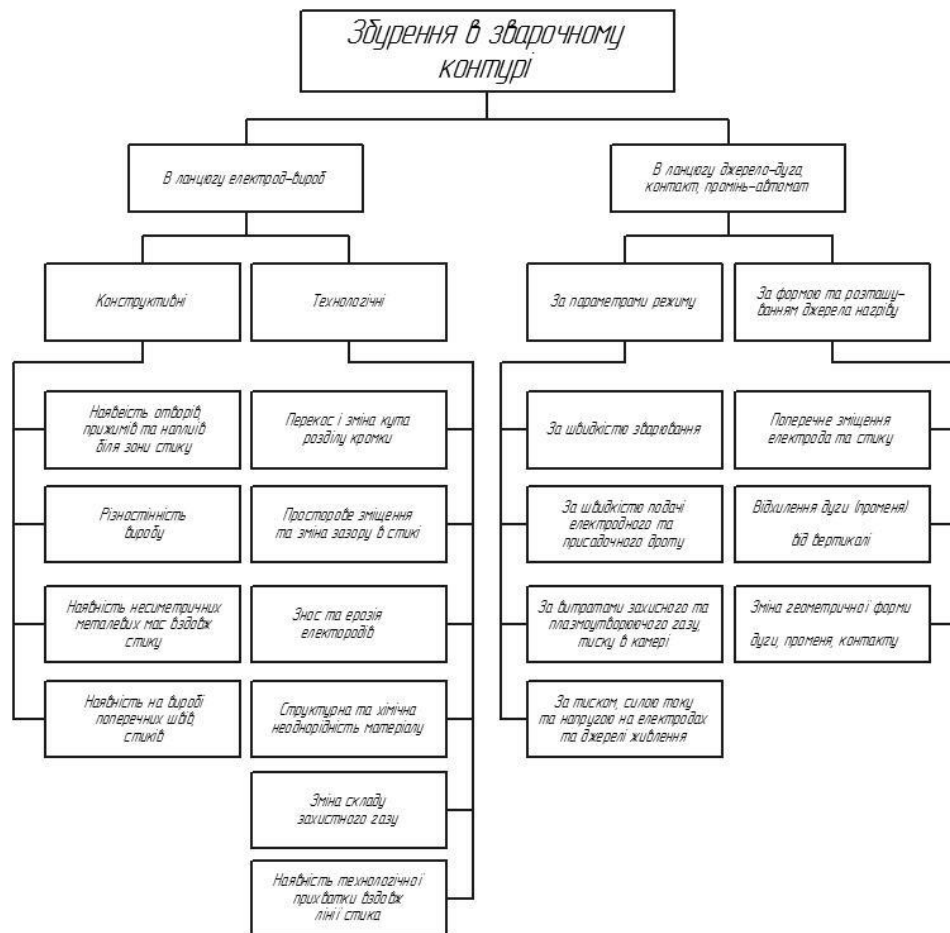


Рис. 1.1 Класифікація збурень у зварювальному контурі

При дії несиметричних збурень (зміщення кромки стику) змінюються розміри та форма ізотерм температурного поля. В цьому випадку для стабілізації температурного поля потрібно не менше двох впливів на об'єкт, наприклад, зміна зварювального струму і зміщення електрода з лінії стику.

Методи теорії автоматичного регулювання дозволяють виключити вплив конструктивних та технологічних збурень на вихідні параметри об'єкта. При цьому необов'язково безпосередньо вимірювати збурення, а достатньо побудувати систему автоматичного регулювання таким чином, щоб точка застосування збурення виявилася всередині замкнутого контуру системи регулювання. Якщо збурення легко виміряти, його дію легко послабити побудовою системи регулювання з управлінням збурення чи побудовою комбінованої системи регулювання, що поєднує у роботі управління з відхилення вихідних величин і управління збурення. За

певних умов така система реалізується повністю інваріантною по відношенню до збурення, що розглядається.

При побудові систем автоматичного регулювання враховують лише домінуючі технологічні збурення, тобто. такі, вплив яких суттєво позначається на основних властивостях зварного з'єднання і до того ж не може бути ослабленим дією систем стабілізації енергії джерела нагрівання. Домінуючі збурення та їх загальне число визначають зазвичай експериментально для кожного конкретного випадку зварювання. Вимірюють їх за допомогою контактних чи безконтактних датчиків з різними принципами дії (потенціометричних, ємнісних, пневматичних, телевізійних, електромагнітних, фотоелектричних та ін.). Класифікація основних збурень, що у зварювальному контурі, наведено на рис. 1.1. У ній враховано точку застосування збурень у зварювальному контурі, фізичну природу збурення.

Висновки до першого розділу

Проведено аналіз умов автоматизації процесу зварювання. Особливістю автоматизації власне процесу зварювання є необхідність вивчення властивостей технологічного об'єкта регулювання кожного способу зварювання з метою побудови розрахункових моделей; визначення критеріальних фізичних і геометричних параметрів об'єкта що найбільш повно характеризують якість зварного з'єднання; розробка способів вимірювання критеріальних параметрів у процесі зварювання.

Збурення, що виникають в різних точках зварювального контуру джерело - дуга - виріб є різними за фізичною природою, тому вплив одних збурень на процес зварювання може бути ослаблений або відносно легко усунутий шляхом їх вимірювання та компенсації, усунення інших - ув'язаний з певними труднощами.

Ефективність роботи системи автоматичного регулювання або управління параметрами процесу зварювання залежить від рівня механізації та автоматизації підготовчих, складальних та транспортних операцій. Завдяки автоматизації підвищується якісні показники швів, точність зварювання, регулювання зварювальної дуги, а також підвищується випуск готової продукції.

Розділ 2. Розрахункова частина

2.1. Характеристики об'єктів регулювання за різних способів зварювання.

Дугове зварювання. При дуговому зварюванні для нагрівання та плавлення металу використовують теплову енергію дуги.

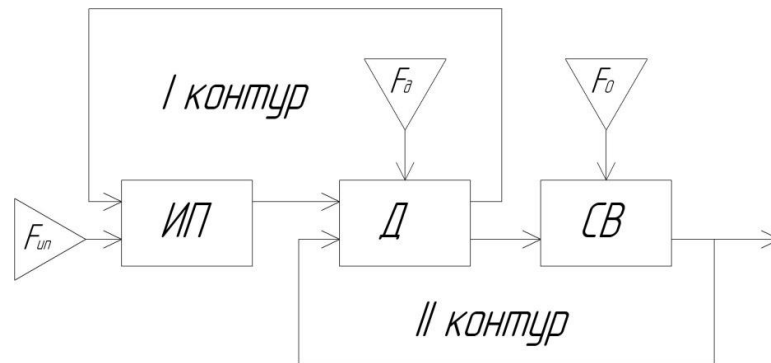


Рис. 2.1 Структура зварювального контуру: ИП – джерело живлення; Д – дуга; СВ – зварювальна ванна; $\tilde{F}_0, \tilde{F}_{un}, \tilde{F}_d$ – збурення, що діють елементи контуру.

Зварювальний контур (рис.2.1) при дуговому зварюванні включає джерело живлення, дугу, зварювальну ванну. Усі елементи контуру з урахуванням функціонального зв'язку між ними утворюють двоконтурну електрогідродинамічну систему. Вплив на систему за будь-яким із зазначених на схемі збурень викликає одночасну зміну параметрів у всіх елементах контуру. Наприклад, зміна в процесі зварювання довжини дуги викликає зміну її динамічного опору, сили струму, напруги в джерелі живлення і, як наслідок, енергетичного та силового впливу дуги на зварювальну ванну. Змінюється геометрія зварювальної ванни, зокрема становище дзеркала під дугою. У дузі змінюється прихована складова, що відбивається на довжині та напрузі дуги. Тимчасовий характер зміни параметрів у системі суттєво залежить від статичних та динамічних властивостей джерела живлення. При деякому поєднанні параметрів джерела

живлення та дуги контур I може втратити стійкість, а в контурі II можуть з'явитися автогасіння. Забезпечення умов стабільного горіння дуги в електрогідродинамічній системі є однією з основних умов перебігу процесу зварювання в необхідному режимі.

Під стабільним горінням дуги розуміється можливість її тривалого горіння в уривчастому і безперервному режимах в умовах збурень, що діють на неї.

Властивості зварювальної дуги, крім параметрів джерела живлення, залежать від роду струму, середовища, в якому горить дуга, та матеріалу електродів. За родом струму розрізняють дуги постійного та змінного струму.

Для зварювання іноді використовують кілька дуг із загальними електродами. Поширення отримали трифазні дуги, що горять між двома дротяними електродами та виробом. Відомі також комбіновані схеми живлення кількох дуг постійним та змінним струмом.

Залежно від матеріалу електродів дуги бувають з електродами, що плавляться і не плавляться.

За характером захисного середовища в зоні дуги розрізняють такі способи дугового зварювання: електродом, що плавиться під флюсом; електродом, що плавиться, в середовищі захисного газу; електродом, що плавиться зі спеціальним покриттям або наповненням; електродом, що не плавиться, в середовищі захисного газу. Дуга є елементом електричного ланцюга контуру I, тому стійкість горіння залежить від стійкості електричних процесів контуру I. Умову стійкості горіння дуги можна вважати необхідною вимогою стабільності її горіння. Цю умову легко отримати з рівняння, що описує електричні процеси в контурі I. Для контуру, що містить активний та індуктивний опір, за даними його можна записати у вигляді

$$r_y = \left(\frac{\partial U_d}{\partial I_d} - \frac{\partial U_u}{\partial I_d} \right) I_d = I_{d0} > 0 \quad (2.1)$$

де r_y – коефіцієнт стійкості системи джерело – дуга; $\frac{\partial U_d}{\partial I_d}$ і $\frac{\partial U_u}{\partial I_d}$ динамічні опори дуги та джерела живлення у робочій точці $I_d = I_{d0}$.

Для джерел живлення зі зворотними зв'язками по струму та напрузі умову (2.1) записують через параметри системи складнішим виразом. Його одержують з використанням критерію Рауса-Гурвіца з аналізу коефіцієнтів характеристичного рівняння системи джерело живлення – дуга. З (2.1) випливає, що при падаючій вольт-амперній характеристиці дуги та джерела

живлення $\left(\frac{\partial U_d}{\partial I_d} < 0; \frac{\partial U_u}{\partial I_d} < 0 \right)$ умова стійкості дуги ($K_u > 0$) буде виконано, якщо справедлива нерівність

$$\left| \frac{\partial U_d}{\partial I_d} \right|_{I_{d0}} > \left| \frac{\partial U_u}{\partial I_d} \right|_{I_{d0}} \quad (2.2)$$

Сенс нерівності (2.2) зводиться до того, що в робочій точці для стійкого процесу крутизна зовнішньої вольт-амперної характеристики джерела живлення повинна бути більшою за крутизну вольт амперної характеристики дуги. Наприклад, практично неможливо забезпечити стійкий процес горіння дуги з падаючою вольт-амперною характеристикою, яка живиться від джерела, що має жорстку зовнішню характеристику. Стійко з таким джерелом живлення можуть горіти дуги зі зростаючою вольт-амперною

характеристикою, у яких $\frac{\partial U_d}{\partial I_d} > 0$

Наведена умова $K_u > 0$ необхідна, але недостатньо для стабільного горіння дуги постійного струму в реальних умовах зварювання. При

зварюванні різних деталей можливі стрибкоподібні, періодичні та плавні зміни довжини дуги. Отже, дуга повинна бути еластичною і мати необхідний запас стійкості. Зовнішню характеристику джерела живлення слід вибирати такою, щоб при змінах довжини дуги режим зварювання не зазнавав змін, що виходять за допустимі межі, та забезпечувався необхідний запас стійкості систем джерела живлення – дуга. У цьому плані переважні джерела живлення з вольт-амперною характеристикою, що круто падає. Для зварювальної дуги змінного струму, крім умови стійкості системи $K_u > 0$, необхідно забезпечити надійні повторні збудження дуги.

При зварюванні можливі тривалі, короткочасні та періодичні відхилення параметрів режиму від номінальних, причина яких полягає у дії збурень на елементи зварювального контуру.

Істотний вплив на процес зварювання можуть мати такі збурення:

у контурі I:

а) зміни довжини дуги, що викликаються нерівностями на поверхні виробу, краплинним перенесенням металу та іншими причинами;

б) зміни "вильоту" електрода внаслідок можливих коливань відстані між струмопідвідним мундштуком та виробом;

в) зміни напруги холостого ходу (ЕРС) джерела живлення та опору зварювального ланцюга, що викликаються коливаннями напруги мережі, нагріванням обмоток, нестабільністю контактів та багатьма іншими причинами;

г) зміни моменту на валу двигунів подачі електрода та переміщення вздовж стику зварювального автомата; ці збурення призводять до зміни швидкості подачі електродного дроту та швидкості зварювання;

у контурі II:

д) зміни геометрії складання стику під зварювання, зазору, притуплення, кута оброблення кромки;

е) структурна та хімічна неоднорідність матеріалу, що зварюється;

- ж) зміни товщини матеріалу, що зварюється по довжині стику;
- з) зміни стану зварювальної поверхні металу (наявність на поверхні окисних плівок, олії та інших шкідливих покриттів);
- і) ерозія та зміни хімічного складу електрода в процесі зварювання;
- к) зміщення електрода та стику відносно один одного.

Перераховані збурення, викликаючи відхилення від номіналу основних параметрів режиму (струму та напруги дуги, швидкості зварювання) та змінюючи умови введення теплоти в зоні стику, призводять до появи у шві таких неприпустимих дефектів, як непровари, підрізи, напливи, пори, перехоплення та ін.

Відомо, що зміни сили зварювального струму впливають на глибину та форму провару, частку основного металу в металі шва на посилення у шві. У ряді випадків це викликає також зміни

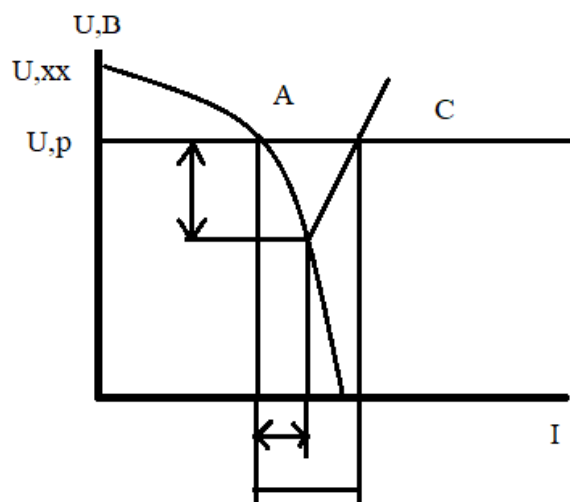


Рис. 2.2 Характеристики стійкої роботи зварювальної головки з різною швидкістю подачі електрода $V_{ш}$

Статична зовнішня характеристика джерела живлення у хімічному складі шва, а отже, і в його механічних властивостях та схильності до утворення гарячих тріщин.

Зміни напруги дуги впливають на ширину шва, особливо на кутових швах, а при зварюванні стикових з'єднань призводять до змін форми шва, що викликає непровар кромки, збільшення посилення та утворення напливів.

Зміна швидкості зварювання викликає зміни погонної енергії дуги, форми шва, глибини проплавлення. При значних змінах швидкості зварювання внаслідок гідродинамічних явищ у зварювальній ванні можливе утворення пор та підрізів у зварному шві. Таким чином, якісне зварне з'єднання в умовах дії збурень можна отримати лише за умови примусової стабілізації або регулювання параметрів режиму зварювання.

Зварювальний контур з електродом, що плавиться, має властивість саморегулювання (самовирівнювання). Ця властивість використана в найпростіших пристроях для механізованого дугового зварювання, що здійснюють подачу електродного дроту до зони зварювання з постійною швидкістю. Для пояснення сутності процесу саморегулювання дуги звернемося до регулювальних вольт-амперних характеристик дуги з електродом, що плавиться (рис. 2.2).

Чим більша швидкість подачі V_p електродного дроту, тим більший зварювальний струм. Нехай стійкий режим зварювання визначається точкою А перетину кривої сталої роботи $V_{п2}$ із зовнішньою характеристикою джерела живлення a (див. рис. 2.2). Якщо з будь-яких причин дуга подовжилася і напруга на ній досягла $U_{д1} > U_{д2}$, то новий стан у точці при $V_B = V_{п2}$ виявляється нестійким.

Новому електричному режиму горіння дуги в точці В стаціонарному режимі повинна відповідати інша швидкість плавлення ($V_e = V_{п1}$) електродного дроту. Ця швидкість плавлення при $I_{д1} < I_{д2}$ менше швидкості подачі електрода $V_{п2}$, що впливає зі зіставлення кривих сталої роботи.

Швидкість зміни дугового проміжку у цьому випадку $\frac{dl_d}{dt} = V_e - V_{п2}$.

Так як $V_e < V_{п1}$, то дуговий проміжок скорочується, напруга на дузі падає доти, доки знову не настане рівність швидкостей плавлення та подачі.

Таким чином, відновлюється режим, який відповідає точці А. При випадковому прискоренні дуги збільшення сили струму супроводжується збільшенням швидкості плавлення, що приводить знову до відновлення дугового проміжку.

Проте чи всі види збурень можуть бути відпрацьовані системою саморегулювання. Наприклад, швидкоплинні зміни довжини дугового проміжку, спричинені краплинним переносом електродного металу, саморегулюючою системою не відпрацьовуються внаслідок порівняно високої частоти переходу крапель. Бракує швидкодії системи. Зміна вильоту електрода призводить до усунення регулювальної характеристики у бік менших струмів, якщо виліт збільшується, і у бік великих струмів, якщо виліт зменшується.

При зварюванні змінним струмом великий вплив на режим зварювання в системі, що саморегулюється, надають коливання напруги мережі, що призводять до змін напруги на дузі. Ці зміни особливо значні у тих випадках, коли робоча точка розташовується на крутопадаючій частині зовнішньої характеристики джерела живлення. Сила струму в зварювальному контурі змінюється незначно.

У деяких випадках на точність роботи саморегулюючої системи впливають зміни опору зварювального ланцюга, особливо його реактивної складової. Отже, саморегулююча система з задовільною точністю відпрацьовує тривалі збурення по довжині дуги, але неефективна при збуреннях по напрузі мережі, вильоту електрода і опору зварювального контуру. Звідси зрозуміла необхідність запровадження примусового регулювання енергетичних параметрів (струму, напруги) зварювального контуру.

При збуреннях групи \tilde{F}_d і $\tilde{F}_{и.п.}$ (див. рис. 2.2) примусові керуючі впливи можуть бути реалізовані шляхом зміни швидкості подачі електрода та параметрів електричного ланцюга зварювального контуру (напруги

холостого ходу джерела живлення, опору ланцюга зварювання, вильоту електрода). Керуючі впливи прямо пропорційні сигналу неузгодженості між заданими силою струму та напругою у зварювальному контурі та їх поточними значеннями.

Системи автоматичного регулювання, побудовані за таким принципом, малоефективні у роботі під час збурення групи $\tilde{F} \neq 0$ доданих до безпосереднього об'єкта регулювання - зварювальної ванни. Векторний параметр \tilde{F}_0 включає як компоненти групи технологічних збурень, перерахованих у пунктах д-к (с.125). Під впливом цих збурень у зварювальній ванні змінюється топологія температурного поля і, як наслідок, геометричні розміри шва при кристалізації.

Примусове регулювання зварювального процесу в цьому випадку може бути організоване шляхом контролю температурного поля зварювальної ванни, що кристалізується навколо шва. Перспективне управління процесом за ідентифікованими моделями, що зв'язують температуру в точках об'єкта (зварювальної ванни, шва), параметри режиму зварювання та технологічні критерії якості (геометричні, механічні, корозійні характеристики шва та виробу).

Для вимірювання температури на поверхні шва та зварювальної ванни доцільно використання безконтактних датчиків, дія яких ґрунтується на вимірюванні інтенсивності випромінювання з поверхні металу. Використання контактних датчиків (наприклад, типу ковзної термомпари, однією гілкою якої є ролик, що котиться по поверхні металу, а інший - метал, що зварюється) викликає великі похибки через інерційність і непостійність контакту між датчиком і металом. Застосування безконтактних датчиків дозволяє наблизити точку вимірювання температури до зварювальної дуги. Однак при надмірному зближенні майданчика візування зі зварювальною дугою корисний сигнал датчика "забивається" перешкодами, спричиненими

прямим або відбитим випромінюванням дуги. У цьому відношенні іноді зручний варіант розміщення майданчика візування зі зворотного боку шва.

Використовуючи фотоелектричні датчики, що переміщуються вздовж і поперек шва, можна отримати інформацію про розподіл температури по поверхні об'єкта регулювання. У цьому випадку вдається коректніше поставити завдання стабілізації температурного поля об'єкта або управління ним за потрібним законом у разі симетричних конструктивних та технологічних збурень.

Сигнал, пропорційний температурі об'єкта, використовується як сигнал зворотного зв'язку для управління електричною потужністю зварювальної дуги. Тим самим теплова потужність зварювальної дуги не стабілізується на заданому рівні, а змінюється залежно від конструктивних та технологічних збурень так, щоб стабілізувати температурне поле об'єкта. Менш задовільні результати таке регулювання приносить у разі несиметричних конструктивних та технологічних збурень. Тут часто буває недостатнім вимірювання температури в одній точці об'єкта. Неefективні і одноконтурні системи регулювання, наприклад, з регулюючим впливом струму. При побудові системи регулювання в цих випадках доводиться оперувати і іншими параметрами режиму (змінюючи швидкості подачі електрода, що плавиться, або присадного дроту, параметрами поперечних коливань електрода, зміщенням електрода та стику тощо). Таким чином будуються комбіновані системи автоматичного регулювання геометричними та фізичними параметрами об'єкта (зварювальної ванни).

Зупинимося ще на одному специфічному питанні регулювання в контурі I (див. рис. 2.1) - управлінні переносом електродного металу при дуговому зварюванні електродом, що плавиться. Перенесення електродного металу залежно від довжини дуги, складу захисного середовища та сили струму відбувається великими, середніми та дрібними краплями з різною частотою проходження (50-150 Гц).

Характер перенесення металу впливає на металургійні процеси, що у зоні зварювання. Значний вплив перенесення формування швів, ефективний ККД процесу, залежить від втрат металу на чад і розбризкування. Тому цікавість пошук способів управління переносом. Відомі технологічні засоби управління переносом - використання комбінованого захисту зони дуги ($Ar + CO_2$), введення в електрод покриттів, що активують, ведення процесу на закритичних точках. Проте вони універсальні, обмежені безліччю чинників технологічного і техніко-економічного характеру.

Отже, велике практичне значення має розробка електротехнічних методів управління переносом. Ідея використання їх обумовлена характером сил, які діють на краплю на кінці електрода. Одна частина цих сил при зародженні та розвитку краплі прагне утримати її на кінці електрода, інша частина сил, навпаки, прагне відокремити її від електрода. Поки крапля мала, вона утримується на кінці електрода силами поверхневого натягу. Інші сили, у тому числі маса, тиск газових потоків і парів металу та інші, незрівнянно менше сил поверхневого натягу та істотного впливу на поведінку краплі не надають.

У міру збільшення обсягу краплі сили поверхневого натягу

$$P = \sigma (1/R_1 + 1/R_2) \quad (2.3)$$

(де σ - коефіцієнт поверхневого натягу; R_1 і R_2 - радіуси головної кривизни поверхні краплі у двох взаємно перпендикулярних перерізах) зменшуються внаслідок збільшення R_1 і R_2 . На форму краплі та її рух починають впливати сили електродинамічної природи, що перевершують усі інші сили. Електромагнітні сили залежить від геометричної форми краплі, закону розподілу щільності струму у ній. За наявності радіусів переходу від торця електрода до краплі відбувається викривлення силових ліній струму. В елементарних електродинамічних силах dF , що діють на елемент краплі

об'ємом ($dV = \rho dS$, з'являються осьові та радіальні складові. Радіальні сили створюють у рідкій краплі гідростатичний тиск

$$P = \frac{\mu_0 \delta^2}{6} (\rho^2 - R^2) \quad (2.4)$$

де μ_0 - магнітна проникність, що досягає найбільшого значення на осі краплі; δ - щільність струму елементарному обсязі;

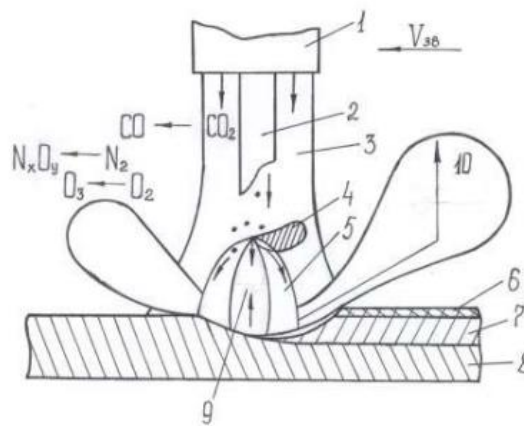


Рис. 2.3 Схема аеродинамічного каналу у ванні та процесів, що протікають у ньому r - відстань від центру краплі до елементарного об'єму; R – радіус краплі.

Якщо крапля симетрична щодо своєї осі, то сумарна дія на неї радіальних сил дорівнює нулю. Це очевидно, тому що в симетричному тілі завжди можна виділити два елементарні об'єми, розташовані ліворуч і праворуч від осі симетрії, в яких радіальні електромагнітні сили рівні за величиною і протилежні у напрямку. Вони можуть викликати лише циркуляцію рідини обсягом краплі. Інакше справа з осьовими складовими електродинамічної сили. Ці сили створюються радіальною складовою щільності струму у викривленій силовій лінії. Вони не врівноважують одне одного. Їхня результуюча прагне відірвати елемент більшого перерізу від елемента меншого перерізу, тобто. краплю від електрода. Такому

спрямованому руху сприяє також різниця тисків усередині краплі та у зоні дуги під краплею. У зв'язку з цим крапля начебто втягується в стовп дуги.

Оскільки щільність струму в електроді і краплі залежить від абсолютної сили струму дуги, то, впливаючи у певні моменти часу струм дуги, можна керувати переносом металу. Короткочасним і різким збільшенням сили струму дуги можна викликати у потрібний момент відокремлення від електрода краплі розплавленого металу. Якщо імпульси струму повторювати через певні досить малі проміжки часу, то можна замість великокапельного перенесення отримати дрібнокапельний.

Реалізація висловлених ідей управління процесом дугового зварювання електродами, що плавляться і неплавляться, нижче розглянута на конкретних системах автоматичного регулювання.

2.2. Системи орієнтації електрода по стику при аргонодуговому зварюванні криволінійних поверхонь.

У практиці зварювання часто зустрічаються криволінійні плоскі шви, наприклад кільцеві шви некруглої форми та поздовжні стики на поверхнях обертання з криволінійною утворюючою вертикальною площиною (рис. 2.4). Для збереження заданого режиму при зварюванні таких профілів кінець електрода повинен описувати еквідистантну криву (штрихова лінія) у площині профілю, щоб у будь-якій точці зварювання довжина дуги підтримувалася постійною. Зварювальний пальник повинен повертатися в цій площині щодо точки зварювання для збереження заданого кута нахилу електрода ρ до поверхні, на якій зварюється шов. При цьому стабілізуються умови подачі присадного дроту та захисту зварювальної ванни аргоном.

Швидкість горизонтального переміщення зварювального інструменту V_{Γ} при зварюванні поздовжніх криволінійних поверхонь або трансверсальна швидкість U_{Φ} при зварюванні кільцевих некругових швів повинна

змінюватися так, щоб результуюча швидкість $V_{св}$, одержувана шляхом геометричного складання V_{Γ} і V_{β} або V_{ϕ} і V_a , в будь-якій точці A_i зваряй.

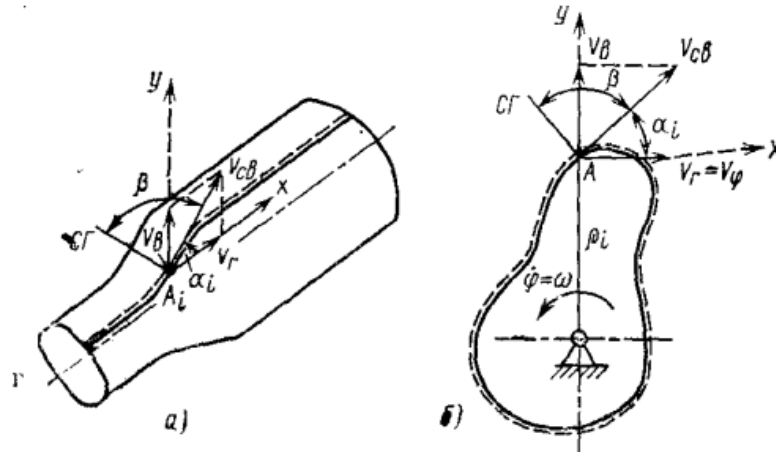


Рис. 2.4 Переміщення зварювального пальника при зварюванні деталей з криволінійною утворюючою у вертикальній площині: а - неповоротних; б – поворотних. ω - кутова швидкість повороту виробу; ρ_i - радіус i -ої точки контуру щодо центру обертання; α_i - кут, утворений напрямком вектора швидкості V_u або V_{ϕ} і дотичної в i -ій точці профілю, що зварюється.

Отже, при зварюванні зазначених профілів необхідно виконати три умови:

$$l_o = const; B = const; V_{cv} = const. \quad (2.5)$$

У загальному випадку відповідні швидкості повинні змінюватися таким чином:

$$\left. \begin{aligned} V_e &= V_{cv} \sin \alpha_i \\ V_{\Gamma} &= V_{\phi} = V_{cv} \cos \alpha_i \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

де V_v - швидкість зворотно-поступального переміщення електрода у вертикальній площині в i -й точці профілю, що зварюється; V_{sv} – швидкість зварювання; V_{Γ} - швидкість горизонтального переміщення зварювального пальника в i -й точці профілю, що зварюється; V_{φ} - трансверсальна швидкість переміщення електрода в i -й точці замкнутого некругового контуру, що зварюється.

Технологічні дослідження з аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом криволінійних профілів з корозійно-стійкої сталі 12X18H9T і алюмінієвих сплавів типу АМГ і АМЦ товщиною 1 - 4 мм виявили наступні вимоги до систем автоматичного регулювання: регулювання і автоматичне підтримання заданої довжини /с) 0,25 - 0,3 мм; автоматична стабілізація кута нахилу електрода до виробу у будь-якій точці суцільного профілю з точністю $\pm 5^\circ$; регулювання та автоматична підтримка швидкості зварювання по всьому зварюваному профілю з точністю $\pm 5\%$.

Відомі конструкції зварювальних автоматів та головок (АСГ, АГР та ін.), які забезпечують автоматичну стабілізацію довжини дуги та цим копіюють криву шва. Однак при цьому можуть змінюватися параметри V і β . При зварюванні кільцевих і прямолінійних швів, викривлення яких носить випадковий характер і зазвичай обмежено невеликими межами, відхилення V_{sv} від заданих величин малі, а їх вплив на якість зварного з'єднання несуттєво. Використовувати ці автомати для зварювання поверхонь зі змінною кривизною небажано, оскільки зміна швидкості зварювання та кута істотно впливає на якість зварювання.

Забезпечити умови $V_{sv} = \text{const}$ і $\beta = \text{const}$ можна за допомогою спеціальних електромеханічних датчиків кута, що контактують з поверхнею деталі. Такі датчики зазвичай кріплять до зварювальної голівки попереду або збоку електрода. Тому кривизна поверхні вимірюється над точці зварювання, а точці контакту датчика з деталлю, що з значної кривизні поверхні деталі

призводить до великим похибкам. Крім того, великі і розміри контактних датчиків, що також обмежує їх застосування на автоматах.

Дуже часто при роботі автомата відмовляються взагалі від датчиків і все регулювання виконують вручну. Швидкість зварювання іноді регулюють і за шаблоном, що доцільно лише при зварюванні великої кількості однотипних деталей. Якщо ж на одній установці необхідно зварювати невелику кількість різноманітних деталей складної форми та якість зварного з'єднання має бути високою, то при проектуванні такої установки слід закладати нові принципи побудови систем автоматичного регулювання перелічених вище параметрів, оскільки за допомогою шаблонів та копійних датчиків отримати зварний шов необхідного якості не вдається.

Оригінальним у цьому плані є зварювальний автомат АГК-1, призначений для аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом деталей з корозійностійких сталей та жароміцних сплавів струмом до 300 А із застосуванням присадного дроту. Всім переліченим вище вимогам він повністю задовольняє.

В основу "конструкції" автомата покладено принцип розв'язання тригонометричних рівнянь (2.6) за допомогою системи спостереження (рис.2.5), одним з елементів якої є синусно-косинусний трансформатор (СКВТ), що обертається, і електронна схема автоматичного регулятора довжини дуги (АРНД).

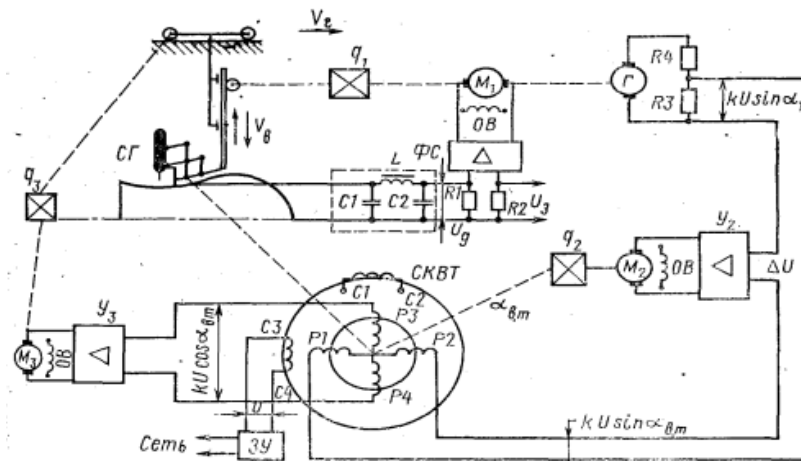


Рис. 2.5 Функціональна схема автомата АГК-1 із системою стеження за профілем деталі

Система автоматичного регулювання довжини дуги забезпечує сталість останньої за допомогою пристрою, що реагує зміну напруги зварювальної дуги, яке пропорційно довжині дуги. Необхідна напруга дуги U_3 на суматорі R_1, R_2 безперервно порівнюється з дійсним (згладженим фільтром ΦC) напругою U_d . Різниця напруг посилюється підсилювачем U_1 подається на привід вертикального переміщення зварювального пальника $СГ$. Двигун M_1 цього приводу в залежності від сигналу, що надходить через редуктор q_1 піднімає або опускає $СГ$. Остання рухається доти, доки різниця напруг не стане рівною нулю.

При відпрацюванні різниці напруг системою автоматичного регулювання довжини дуги примусово забезпечується зворотно-поступальний рух електрода з певною швидкістю V_b в залежності від швидкості зварювання і кривизни профілю, що зварюється:

$$V_b = V_{cb} \sin \alpha_i \quad (2.7)$$

Оскільки результуюча швидкість зварювання V_{cb} задається через пристрій $ЗУ$ у вигляді напруги U і при певному режимі залишається постійною, то невідомі тільки швидкість горизонтального переміщення

зварювальної головки V_{Γ} і кут α , утворений напрямом вектора V_{Γ} і дотичної в даній точці профілю.

Визначення цих величин у системі АГК-1 відбувається в такий спосіб. На одну зі статорних обмоток (С3 - С4) синусно-косинусного трансформатора, що обертається, СКВТ (рис.2.5) з задає пристрою ЗУ подається напруга U , пропорційне результуючої швидкості зварювання $V_{св}$. З роторної обмотки (Р1 – Р2) знімається напруга

$$U_{P1-P2} = kU \sin \alpha_{в.т} \quad (2.8)$$

де k - Коефіцієнт пропорційності СКВТ; U – напруга живлення статорної обмотки С3 – С4; $\alpha_{в.т}$ - Кут повороту ротора СКВТ щодо його нульового положення.

Напруга U_{P1-P2} , безперервно порівнюється з напругою $kU \sin \alpha_i$ - тахогенератора G , пропорційним швидкості зворотно-поступального руху електрода $V_{в}$. Різниця напруг ΔU посилюється підсилювачем $У2$ і подається до пристрою, двигун $М2$ якого повертає через редуктор $q2$ ротор трансформатора, що обертається (і жорстко пов'язаний з ним пальник СГ) в той чи інший бік. Слідкуюча система прийде в рівновагу при $\alpha_{в.т} = \alpha_i$ і $\Delta U = 0$. При цьому пальник повернеться на кут α_i та займе задане вихідне положення щодо деталі (кут нахилу β). Одночасно з косинусної обмотки (Р3 – Р4) СКВТ знімається напруга $U_{P3-P4} = kU \cos \alpha_{в.т}$, що посилюється в $У3$ і використовується для відтворення за допомогою двигуна $М3$ і редуктора $q3$ швидкості горизонтального

СКП синусно-косинусний перетворювач; СПСТ - система переміщення зварювального візка; $М У$ – розмножувальний пристрій; СПІ – система

повороту деталі; U_3 , V_3 - відповідно задані напруга на дузі і швидкість зварювання переміщення зварювальної голівки за законом $V_r = V_{ce} \cos \alpha_i$.

У разі зварювання кільцевих швів некруглої форми напруга з косинусної обмотки СКВТ використовується для відтворення трансверсальної швидкості переміщення зварювальної головки V_φ .

Так як $V_{\varphi_i} = \omega_i \rho_i$ (де ω_i - кутова швидкість повороту виробу в i -ій точці профілю, ρ_i - змінний радіус зварюваного контуру деталі щодо центру його обертання), то для отримання $V_{\varphi_i} = V_{ce} \cos \alpha_i$ швидкість повороту виробу ω_i має змінюватися згідно із законом

$$V_{ce} \cos \alpha_i / \rho_i \quad (2.9)$$

Для цієї мети використовують спеціальний ділильний пристрій, на виході якого виходить напруга, пропорційна ρ_i . На вхід ділильного пристрою надходить напруга, пропорційна s , яке побічно можна виміряти по вертикальному переміщенню зварювального пальника, прикріпивши до неї потенціометричний датчик положення, і напруга $kU \cos \alpha_i$, що знімається з роторної обмотки РЗ-Р4 СКВТ.

В автоматі АГК-1 як виконавчий двигун переміщення пальника по вертикалі застосований двигун Д-25. Аналогічний двигун використовують для системи стабілізації кута нахилу електрода. Швидкість стеження у своїй дорівнює 20 град. /с.

Для горизонтального переміщення каретки (для забезпечення V_r) використовують двигун типу СД-150, що працює в парі з електромашинним підсилювачем ЕМУ-250. Сигналом для збудження ЕМУ є напруга, що знімається з косинусної обмотки СКВТ, перетворене демодулятором.

Структурні схеми автоматичної системи для зварювання неповоротних і поворотних деталей наведені на рис. 2.6 Кожна структурна схема

складається з трьох каналів: незалежного y , що працює за принципом системи, що стежить, і залежних α і x (або φ), які вирішують рівняння:

для неповоротних виробів

$$\left. \begin{array}{l} \sin \alpha = \frac{\dot{y}}{V_{cv}}; \dot{x} = V_{cv} \cos \alpha_i; \\ \text{для поворотных изделий} \\ \sin \alpha = \frac{\dot{y}}{V_{cv}}; \dot{\varphi} = \frac{V_{cv} \cos \alpha_i}{y}; \end{array} \right\} (2.10)$$

Де $\dot{y} = V_a; \dot{x} = V_r = V_\varphi$,

Заданими параметрами при обчисленнях вважають потрібну швидкість зварювання V_{cv} та величину \dot{y} .

Аналіз структурних схем (рис.2.5) показує, що у реалізованій таким чином системі регулювання є прямий зв'язок між каналами \dot{y} , α , \dot{x} (або $\dot{\varphi}$). Наприклад, для структурної схеми, показаної на рис.2.5, а передатна функція щодо параметра \dot{x} є добуток передавальних функцій всіх трьох каналів:

$$\Phi_x(p) = \frac{\dot{x}(p)}{y_{ax}(p)} = \Phi_1(p)\Phi_2(p)\Phi_3(p).$$

Звідси видно, що різкі зміни кривизни профілю, що з'єднуються, призводять до великих динамічних помилок при визначенні \dot{y} , а отже, і швидкість зварювання. З цього погляду доцільніше вирішувати системи (2.10), скориставшись умовою $V_{cv} \cos \alpha = \sqrt{V_{cv}^2 - y^2}$. В цьому випадку, як видно зі структурних схем (на рис. 2.6, б показано штриховими лініями), зникає зв'язок між каналами α і x (або φ і α), і диференціальне рівняння щодо $\dot{x}(\varphi)$ встановиться як мінімум на два порядки нижче.

Загальний недолік розглянутих систем у тому, що у процесі зварювання змінюється кут нахилу α . Це призводить до зміни величини та знаку кута нахилу зварювальної ванни щодо горизонтальної площини, що впливає на якість з'єднання. Для усунення цього недоліку доводиться вводити спеціальну програму зміни режимів зварювання. Крім того, при збільшенні

кута α знижується чутливість k дуги $k = \frac{\Delta U_{\text{д}}}{y} = k_0 \cos \alpha$ де k_0 - чутливість дуги (градієнт стовпа дуги) при горизонтальній поверхні зварювання, коли $\alpha = 0$], що зменшує точність системи, що стежить.

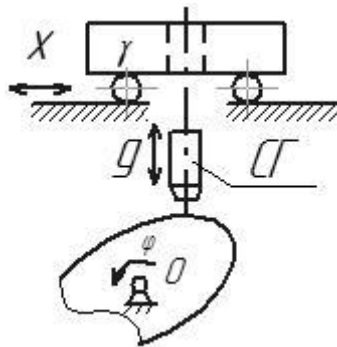


Рис. 2.7 Спосіб автоматичного зварювання поворотних деталей з горизонтальним розташуванням зварювальної ванни

При зварюванні поворотних деталей ці недоліки можна виключити, задаючи системі палик - виріб інші переміщення порівняно з розглянутим вище випадком.

Практичний інтерес представляє спосіб автоматичного зварювання, яким здійснюється стабілізація довжини дуги та швидкості зварювання при забезпеченні горизонтального положення рідкої ванни. Нехай палик СГ переміщається вертикально у, візок Т горизонтально х, а деталь І повертається щодо постійної осі (рис. 2.7). З урахуванням горизонтальності зварювальної ванни переміщення зварювального палика та візка характеризуються рівняннями

$$\left. \begin{aligned} y &= F(x, \varphi); \\ \dot{y} &= x\dot{\varphi}; \\ \dot{x} + y\dot{\varphi} &= V_{ce} \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

де $F(x, \varphi)$ - рівняння кривої, що обертається.

Безперервно фіксуючи величини y, \dot{y} , допускаємо, як і раніше, що каналу працює за принципом стежить за довжиною дуги. Тоді потрібні переміщення x та φ можна отримати, вирішуючи друге та третє рівняння системи (2.11). На рис.2.7 наведено приклад такої автоматичної системи. Дослідження її стійкості та динаміки зводиться до аналізу структури:

$$\left. \begin{aligned} [F(x, \varphi) - y]W_1(D) &= y; \\ (\dot{y} - x\dot{\varphi})W_2(D) &= \dot{x}; \\ (V_{ce} - \dot{x} - y\dot{\varphi})W_3(D) &= \dot{\varphi}, \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

де $W_1(D), W_2(D), W_3(D)$ - передавальні функції відповідних каналів.

Зазначимо, що структура (2.12) не єдина можлива. Може мати місце варіант, коли система стеження за напругою дуги управляє поворотом деталі, а переміщення x і визначають шляхом використання другого і третього рівнянь (2.11).

Таким чином, для поворотних виробів раціональніше створювати системи за структурою типу (2.12), що забезпечують горизонтальне положення ванни протягом всього процесу зварювання. У цьому випадку для отримання якісного зварного з'єднання немає необхідності застосовувати програмуючі пристрої для регулювання одного з параметрів режиму зварювання функції від кута α . Крім того, простіше виходить механічна частина системи, тому що відпадає потреба в повороті пальника щодо точки зварювання.

Висновки до другого розділу

У другому розділі були розглянуті характеристики об'єктів регулювання при різних способах зварювання. Показано, що істотний вплив на процес зварювання можуть мати такі збурення, як зміна довжини дуги, що пов'язана з нерівностями на поверхні виробу, краплинним перенесенням металу, зміни "вильоту" електрода внаслідок можливих коливань відстані між струмопідвідним мундштуком та виробом, структурна та хімічна неоднорідність матеріалу, що зварюється, зміни товщини матеріалу, що зварюється по довжині стику та інші. Перераховані збурення призводять до появи у шві таких неприпустимих дефектів, як непровари, підрізи, напливи, пори, перехоплення та інші. Зміна швидкості зварювання викликає зміни погонної енергії дуги, форми шва, глибини проплавлення. При значних змінах швидкості зварювання можливе утворення пор та підрізів у зварному шві. Таким чином, якісне зварне з'єднання в умовах дії збурень можна отримати лише за умови примусової стабілізації або регулювання параметрів режиму зварювання.

Розділ 3. Апаратно-програмне забезпечення системи

3.1. Розробка роботизованого процесу.

Особливістю масового виробництва є виготовлення однотипної продукції великих обсягах протягом тривалого часу.

Найважливішою особливістю масового виробництва є обмеження номенклатури виробів, що випускаються. Завод чи цех випускають кілька найменувань виробів. Це створює економічну доцільність широкого застосування в конструкціях виробів уніфікованих та взаємозамінних елементів.

Окремі одиниці продукції, що випускається, не відрізняються одна від одної (можуть бути лише незначні відмінності в характеристиках та комплектації).

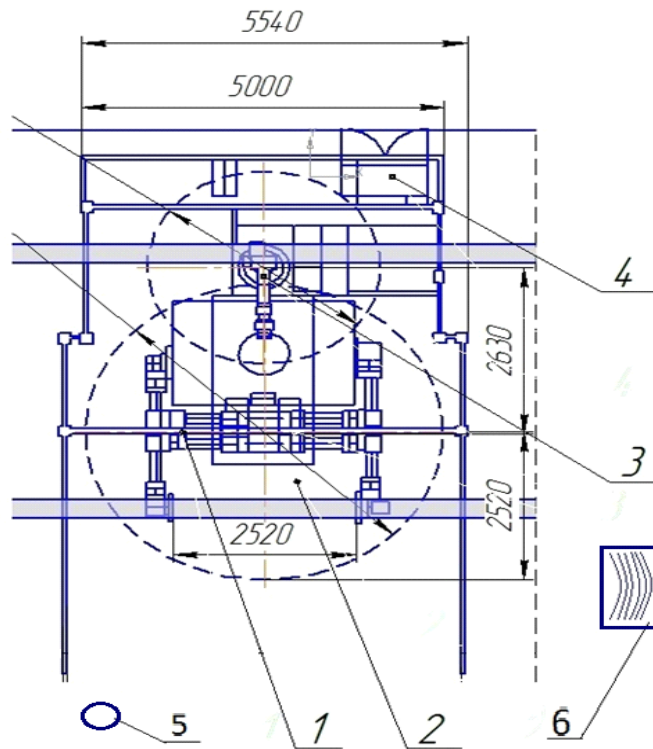
Час проходження одиниці продукції через систему відносно малий: він вимірюється у хвилинах чи годинах. Кількість найменувань виробів протягом місяця та року не змінюється.

Для виробів характерна висока стандартизація та уніфікація їх вузлів та деталей. Масове виробництво характеризується високим ступенем комплексної механізації та автоматизації технологічних процесів. Масовий тип виробництва типовий автомобільних заводів, заводів сільськогосподарських машин, підприємств взуттєвої промисловості та інших.

Значні обсяги випуску дають змогу використовувати високопродуктивне обладнання (автомати, агрегатні верстати, автоматичні лінії). Замість універсального оснащення використовується спеціальне. Диференційований технологічний процес дозволяє вузько спеціалізувати робочі місця за допомогою закріплення за кожним з них обмеженої кількості деталей.

Ретельна розробка технологічного процесу, застосування спеціальних верстатів та оснащення дозволяють використовувати працю

вузькоспеціалізованих робітників-операторів. Натомість широко використовується праця висококваліфікованих робітників-наладчиків. Однією з таких деталей для застосування спеціальних верстатів є верхня дуга кабіни комбайна



Малюнок 3.1 – Планування зварювальної ділянки: 1 – оснащення, 2 – позиціонер, 3 – промисловий робот КУКА, 4 – система управління, 5 – оператор, 6 – базові деталі.

Планування пропонованого РТК наведено малюнку 3.1.

Оператор (5) закладає заготовки з магазину (6) в оснастку (1). З допомогою пневмозатискачів він фіксує деталі у тій позиції, де вони приварюватися одна до одної. Далі оснастка (1) за допомогою позиціонера (2) розгортає заготовку до промислового роботу (3) та виставляє її у позицію для зварювання. Далі відбувається процес зварювання деталі. Розвантаження готового виробу відбувається у зворотному порядку: відведення маніпулятора від заготовки, поворот позиціонера та виставлення оснастки у початкове положення. Вимикання вакууму та відведення пневмозатискачів.

Після чого оператор виймає готовий виріб та вставляє заготовку для наступного процесу зварювання.

3.2. Вибір технологічного та допоміжного обладнання.

Для цього РТК необхідно обрати:

- Модель робота KUKA для зварювальних робіт,
- Оснащення,
- Позичіонер або поворотний стіл для розвороту оснащення,
- Систему керування,
- Захисні кожухи та кнопки аварійного відключення та відключення живлення.

3.2.1. Вибір маніпулятора.

Для виконання поставленої задачі необхідно обрати оптимальний маніпулятор для дугового зварювання. При цьому важливо враховувати можливість оснащення маніпулятора зварювальним пристроєм. Обраний маніпулятор повинен забезпечити досяжність усіх точок зварного шва. Також необхідно забезпечити точність позиціонування маніпулятора для виконання роботи відповідної якості. За завданням необхідно вибрати маніпулятор фірми KUKA.

Розглянемо запропоновані варіанти та виберемо відповідний до завдання: KR 5 ARC.

Робот KR 5 arc доповнює асортимент продукції KUKA в сегменті малої вантажопідйомності. З вантажопідйомністю 5 кг він чудово підходить для виконання стандартних завдань із дугового зварювання. Завдяки привабливій ціні та компактним розмірам він підійде для виконання багатьох завдань. Незалежно від виду монтажу (на підлозі або на стелі) робот KR 5 arc фірма-виробник гарантує надійність та відповідність заявленим характеристикам.



Малюнок 3.2 - Маніпулятор KR 5 ARC

Навантаження

Корисне навантаження 5 кг;

Додаткове навантаження 12 кг;

Робоча зона

Макс. радіус дії 1412 мм;

Інші дані та виконання

Кількість осей 6;

Стабільність повторюваності $\leq \pm 0,04$ мм;

Вага 127 кг;

Монтажне положення На підлозі, стелі

Система керування KR C4

KR 16 ARC Спеціальний робот у галузі зварювання в захисному газі – робот KR 16 arc HW (Hollow Wrist). Цей новий тип робота містить деякі функції, які його абсолютно унікальним. Пропускний отвір розміром 58 мм у маніпуляторі та руці дозволяє безпечно переміщувати в руці комплект шлангів для захисного газу. Отже, забезпечується як захист комплекту шлангів від механічних впливів, а й відсутність небажаних ударних рухів при

переорієнтації робота. Можливе використання комплектів гнучких шлангів і комплектів шлангів, що нескінченно обертаються, для захисного газу.



Малюнок 3.3 - Маніпулятор KR 16 ARC HW

Навантаження

Корисне навантаження 16 кг;

Додаткове навантаження 12 кг;

Робоча зона

Макс. радіус дії 1636 мм;

Інші дані та виконання

Кількість осей 6

Стабільність Повторюваності $< \pm 0,05$ мм;

Вага 245 кг;

Монтажне становище Boden, Decke

Система керування KR C2 edition 2005

Тип захисту IP 54

Діапазон температур $+10^{\circ}\text{C} - +55^{\circ}\text{C}$.

З розглянутих моделей вимогам точності, вантажопідйомності та економічного зиску найкраще відповідає маніпулятор KR 16 ARC HW.

3.2.2. Вибір позиціонера.

Пристрій позиціонування з трьома додатковими осями оснащений двома робочими станціями для деталей, щоб забезпечити безперервний виробничий процес. У той час як оператор витягує деталі з одного боку та встановлює нові, робот може паралельно виконувати їхню обробку на іншій станції.

При цьому максимальна відстань між планшайбами становить 3000 мм, а максимальний радіус інструменту – 1000 мм. Пропонуються моделі у чотирьох різних класах вантажопідйомності: 250 кг, 500 кг, 750 кг та 1000 кг. Пристрій позиціонування можна комбінувати з усіма роботами KUKA, що працюють із системою KR C4.



Рисунок 3.4 – Подвійний поворотний позиціонер

Варіанти виконання залежно від вантажопідйомності:

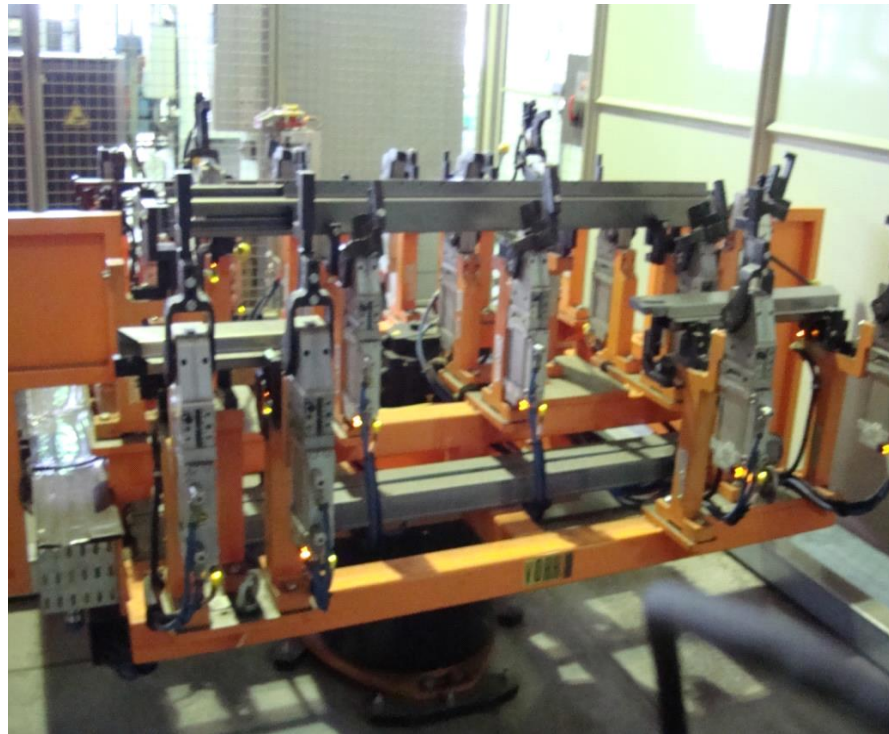
- KR3-V2H250
- KR3-V2H500
- KR3-V2H750
- KR3-V2H1000

Представимо характеристики даної лінійки моделей позиціонерів:

	КРЗ-V2H250	КРЗ-V2H500	КРЗ-V2H750	КРЗ-V2H1000
Максимальна вантажопідйомність	250кг	500кг	750кг	1000кг
Число ступенів рухливості	3	3	3	3
Завантажувальна висота	952мм	952мм	952мм	952мм
Радіус інструменту	500-1000мм	500-1000мм	500-1000мм	500-1000мм
Відстань між планшайбами	1600-3000мм	1600-3000мм	1600-3000мм	1600-3000мм
Коефіцієнт навантаження	100:80	100:80	100:80	100:80
Повторюваність	0,08мм	0,08мм	0,08мм	0,08мм
Монтажне становище	На підлозі	На підлозі	На підлозі	На підлозі
Радіус робочої зони	1880-2670мм	1880-2670мм	1880-2670мм	1880-2670мм
Вага позиціонера	1331кг	1389кг	1491кг	1619кг
Максимальний кут повороту	185°	185°	185°	185°
Час повороту (180°)	3,7с	3,8с	3,7с	3,3с

З конструктивних та економічних міркувань обрано позиціонер КРЗ-V2H250, який задовольняє вимогам щодо вантажопідйомності, точності та швидкодії.

Вибираємо оснастку моделі ОР20, яка здійснюватиме надійний контакт у місцях зварювання.



Малюнок 3.5 Оснащення моделі OP20.

Контролер для управління цим позиціонером KR C4

Спосіб навчання: KUKA SMARTpad.

3.2.3. Вибір системи управління.

Обладнання обране для процесу зварювання керується за допомогою системи KR C4.

Плюсами порівняно з попередніми системами управління від KUKA ROBOTICS (KR C2, C3) є продуктивність, надійність, гнучкість. Але головною перевагою є те, що нова система є більш інтелектуальною. Революційна концепція KR C4 створює надійний фундамент, як для сучасних систем, так і систем найближчого майбутнього. Це дозволяє знизити витрати на інтеграцію, технічне обслуговування та догляд, поступово підвищувати ефективність та гнучкість системи. Для цього компанія KUKA розробила принципово нову, чітко структуровану архітектуру системи, сфокусовану на відкритих та ефективних стандартах даних. Архітектуру, в якій всі інтегровані системи управління - SafetyControl, RobotControl, MotionControl і

LogicControl - мають загальну базу даних та інфраструктуру, які вони раціонально використовують та розподіляють для досягнення максимальної потужності, масштабованості та гнучкості.

ОГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Простота планування, управління та обслуговування

- Продовження розвитку технологій управління на базі ПК, що зарекомендували себе
- Швидке та легке обслуговування за рахунок вдосконалення апробованих стандартів
- Розширення набору команд для більш комфортного програмування траєкторій руху
- Висока сумісність із існуючими програмами для KR C2
- Системи RobotControl, MotionControl, LogicControl та SafetyControl, об'єднані в єдиній системі управління
- Взаємодія та обмін даними між спеціалізованими системами управління в режимі реального часу
- Максимальна цілісність та узгодженість даних завдяки центральним базовим мережевим службам
- Органічно інтегрована техніка безпеки для нових областей застосування
- Інтегрований програмний брандмауер для підвищення безпеки роботи в мережі
- Інноваційні програмні функції для оптимізованої енергоефективності
- Технологічна платформа, що відповідає вимогам завтрашнього дня без використання запатентованого обладнання
- Підтримка багатоядерного процесора для масштабованої потужності
- Швидкий обмін даними по мережі Gigabit Ethernet

- Інтегровані карти пам'яті для збереження важливих системних даних
- Розрахована на напругу 380-480 В змінного струму
- Нова концепція вентилятора для максимальної енергоефективності
 - Система охолодження без фільтруючих матів, що не вимагає техобслуговування
- Максимальна потужність у мінімальному просторі
- Максимальна експлуатаційна готовність



Малюнок 3.6 - Контролер KR 4C

Характеристики контролера:

- Габаритні розміри 271x483x460 мм
- Багатоядерний процесор
- SDD жорсткий диск
- Підтримуваний інтерфейс USB3, GB Ethernet, DVI-I
- Число модулів 6+2 (з додатковим блоком модулів)
- Напруга робочої мережі AC 200-240В. 50Hz
- Ступінь захисту IP20
- Робоча температура від 5° до 45°
- Вага 33кг.

Існує також можливість вибору інших блоків керування, що відрізняються розмірами, ступенем захищеності та спеціалізовані в роботі у жорсткіших умовах (нестабільна мережа живлення, високі або низькі температури експлуатації тощо).

Для програмування основного обладнання та управління ним використовуватиметься панель управління KUKA SMARTPAD.



Малюнок 3.7 - панель управління KUKA SMARTPAD

Огляд основних характеристик:

- Просте, інтуїтивно зрозуміле управління за допомогою сенсорної панелі з контекстно-залежними вікнами, що переміщуються.
- Пряме керування вісьмома осями/додатковими осями (без необхідності перемикання) за допомогою спеціальних навігаційних клавіш
- Ефективне програмування за допомогою 6D-миші та ергономічної клавіатури сенсорної панелі
- Послідовне вдосконалення концепції KUKA з управління та програмування, що добре зарекомендувала себе
- Не потрібно жодних витрат на навчання
- Безпосереднє збереження та зчитування конфігурацій через USB-порт на планшеті KUKA smartPAD

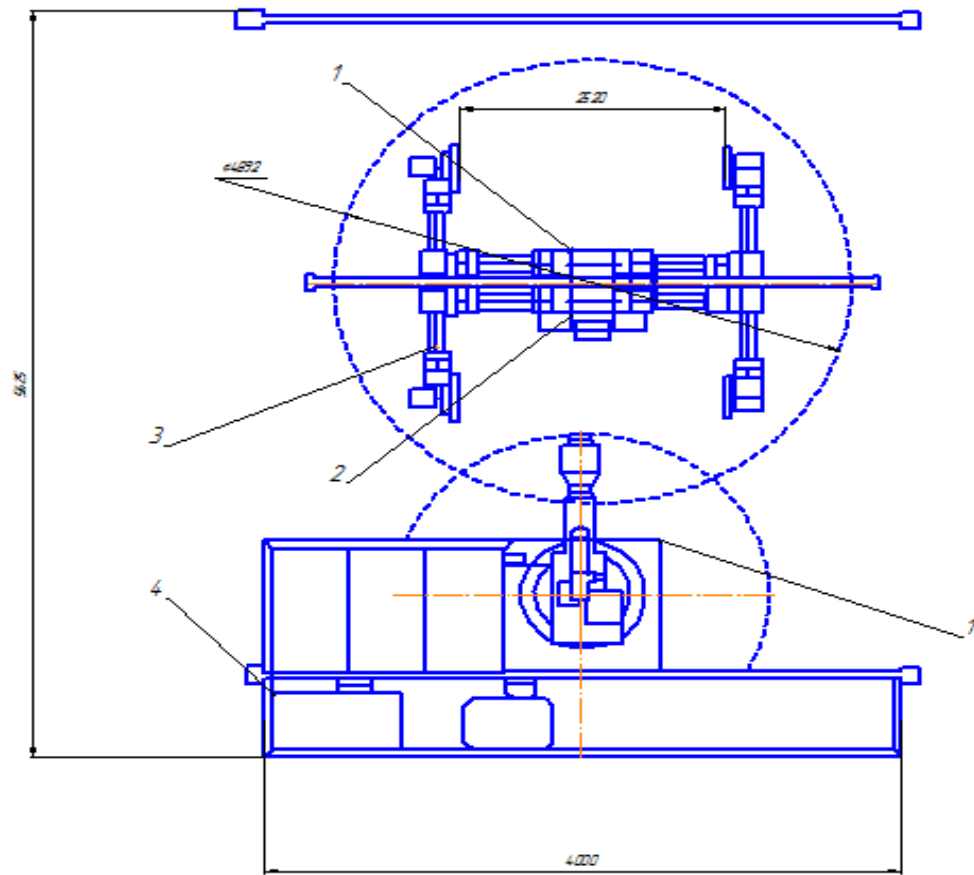
- Підтримка гарячого підключення. Якщо планшет KUKA smartPAD не використовується, його можна просто від'єднати. Комфорт для очей при роботі з планшетом завдяки високій роздільній здатності екрану та якісному антивідблисковому покриттю дисплея

Перевагами даної системи управління є сумісність з іншими системами управління, наприклад OMRON ONE NET, SIEMENS SIMATIC S7, Rockwell logic controller. Що дозволяє поєднувати роботу всіх компонентів РТК незалежно від фірми виробника та системи керування певним обладнанням.

Для безпеки роботи даного РТК необхідно оснастити його кількома модулями:

- Пожежна сигналізація
- Огородження робочої зони РТК
- Захисні замки, що входять до єдиного електричного контуру безпеки, що застосовуються для відключення роботи обладнання, при відкритті захисних огорож.
- Аварійні кнопки типу «Червоний гриб» для аварійного відключення обладнання оператором.
- Комутаційні пристрої відключення живлення, при перевантаженнях двигунів, понад навантаженнях електричної мережі (в т.ч. коротких замиканнях) і при нестабільній роботі електричної мережі (падіння, зростання або стрибки напруги і т.п.).
- Остерігаючі знаки, таблички та інструкції, покладені з техніки безпеки.

3.3. Планування РТК.



Малюнок 3.8 планування РТК. 1 - Зварювальний робот, 2 - Позиціонер, 3 - Оснащення, 4 - Блок системи управління.

3.4. Схема системи керування РТК.

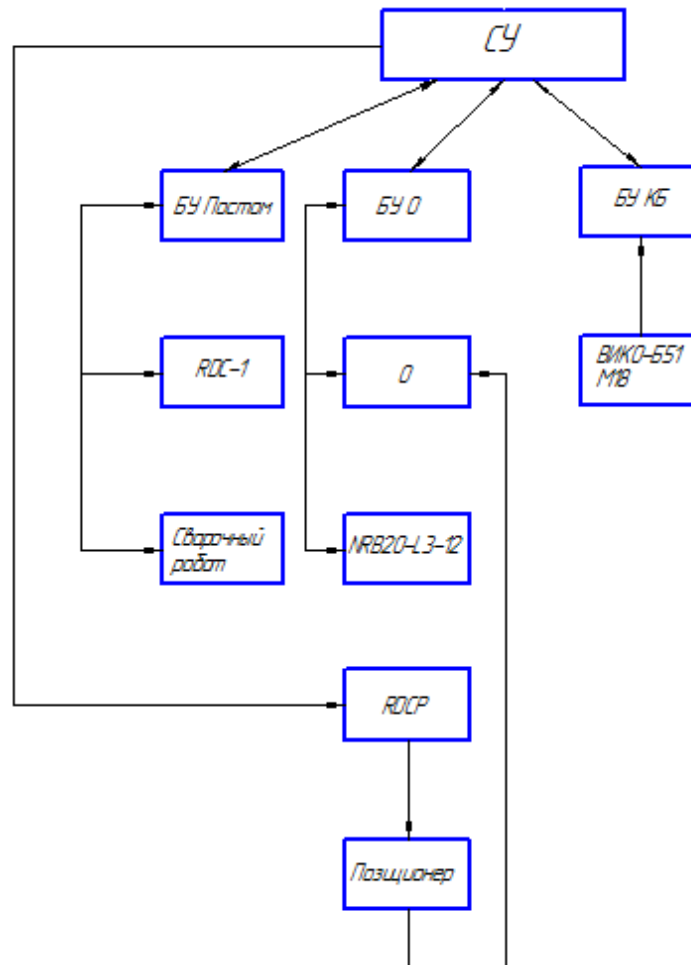


Рисунок 3.9 – блок схема системи управління РТК. СУ-система управління, БУ-блок управління, О - оснащення, КБ - контур безпеки.

3.5. Вибір способів юстування та калібрування роботи.

Юстировка (від нім. justieren виміряти) - сукупність операцій з вирівнювання конструкцій та конструктивних елементів (поверхень, стовпів, стійок і т.д.) вздовж деякого напрямку («осьового»), а також щодо приведення міри, вимірювального або оптичного приладу, механізмів (або їх частини) у робочий стан, що забезпечує точність, правильність та надійність їх дії.

При юстуванні робот наводиться в механічне нульове положення і значення датчика для кожної осі зберігається. Це дозволяє узгодити механічне та електричне нульове положення.

Існують 2 методи юстування робота:

- За допомогою електронної контактної вимірювальної головки ЕМТ
- За допомогою стрілочного індикатора

Виконаємо юстирування за допомогою ЕМТ-головки, цей спосіб є більш зручним та точним.

При юстуванні за допомогою ЕМТ всі осі робота переміщуються в механічне нульове положення, система управління робить це автоматично. Спочатку юстирування виконується без навантаження, а потім із навантаженням. Є можливість зберегти кілька юстировок для різних навантажень.

Юстування за допомогою ЕМТ складається з наступних кроків:

- . Первинне юстирування. Виконується без навантаження.
- . Калібрування. Виконується із навантаженням. Різниця по відношенню до первинного юстування зберігається в пам'яті.
- . Перевірка юстування навантаження зі зміщенням (за потребою).

Послідовність юстування

1 Вибрати послідовність меню Запуск >Юстування > ЕМТ > 3 кор. навантаження > Первинне юстирування.

Відкривається вікно опції. Відображаються всі осі, що юстуються. Виділено вісь із найнижчим номером.

2 Зняти з осі, виділеної у вікні опцій, захисну кришкувимірювального патрона. Нагвинтити ЕМТ на вимірювальний патрон. Після цього під'єднати вимірювальний провід до ЕМТ і підключити його до гнізда Х32 на коробці виводів станини.

3 Натиснути програмовану клавішу Юстир.

4 Натиснути перемикач підтвердження та клавішу пуску.

Коли ЕМТ виявить найнижчу точку вимірювальної насічки, механічне нульове положення досягнуто. Робот автоматично зупиняється. Значення зберігаються у пам'яті. Ось у вікні опції затемнюється.

5 Від'єднати вимірювальний провід від ЕМТ. Потім зняти ЕМТ із вимірювального патрона та знову встановити захисну кришку.

6 Повторити кроки 1.2 – 1.5 для всіх вісей які проходять юстування.

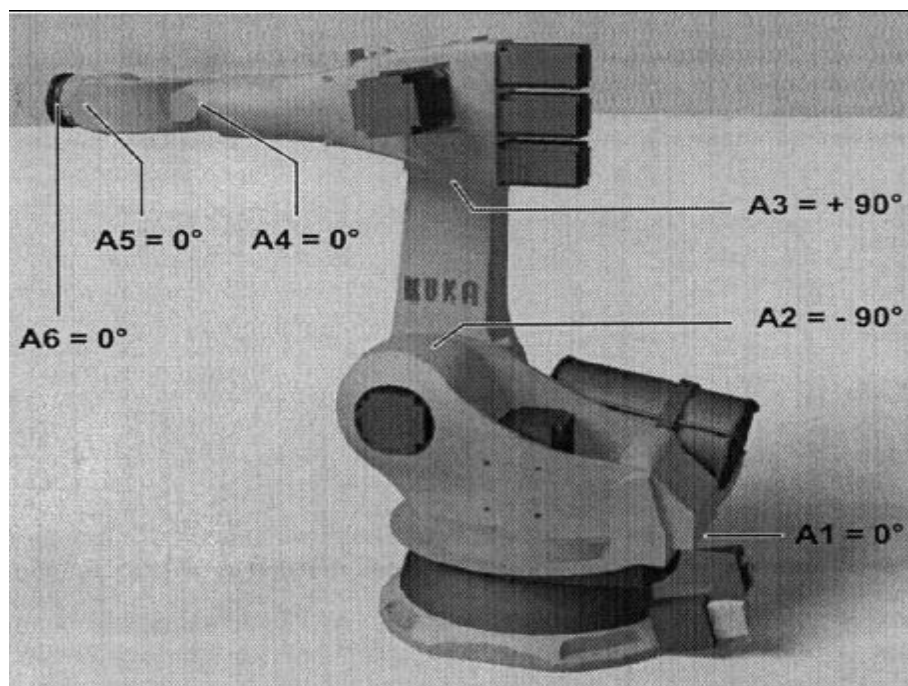


Рисунок 3.10 Загальний вигляд робота та юстування роботизований зварювання технологічний калібрування

1-вісь $A1=00$, 2- вісь $A2=00$, 3- вісь $A3=00$, 4-вісь $A4=00$, 5-вісь $A5=00$, 6-вісь $A6=00$. Калібрування осей робота може здійснюватися 8 способами для нашої задачі більш підходящим є спосіб «ABC унів. який має два варіанти калібрування 5D та 6D.

Опис Осі системи координат TOOL встановлюються паралельно до осей системи координат WORLD. Завдяки цьому системі управління роботом повідомляється орієнтація системи координат TOOL.

D - варіант: системі управління роботом повідомляється лише напрямок дії інструмента. Напрямок дії є за замовчуванням вісь X. Напрямок інших

осей визначається системою, і оператор не може визначити їх без додаткових заходів. Область застосування: наприклад, дугове зварювання в інертному/активному газі, лазерне або гідравлічне різання.

D - варіант: 6D: системі управління роботом повідомляється напрямок всіх 6 осей.

Область застосування: наприклад, для зварювальних робіт, захоплення або клейових дюз.

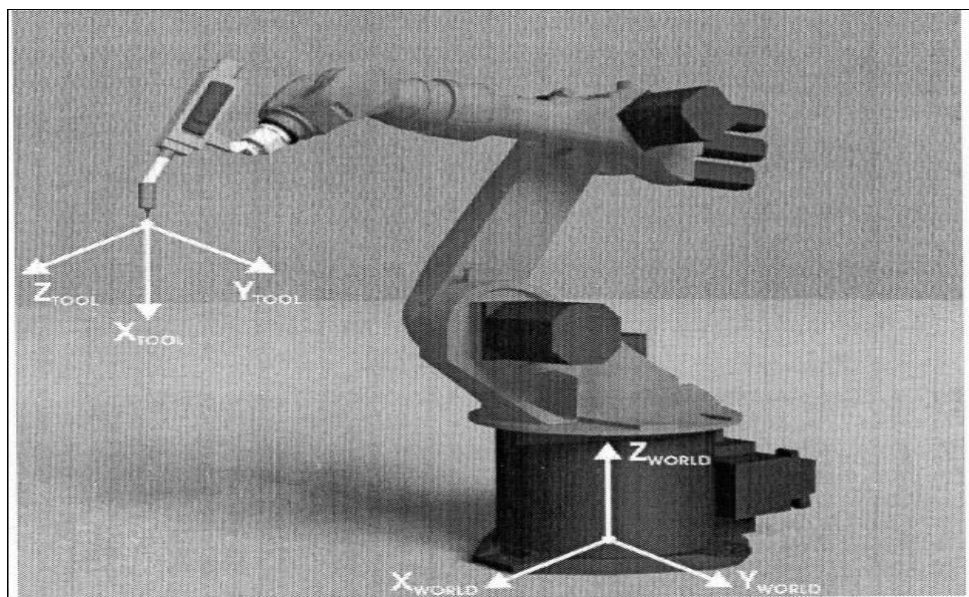


Рисунок 3.11 Загальний вигляд робота та калібрування ос

Висновки до третього розділу

Для побудови автоматизованого комплексу зварювання металевих деталей було обрано маніпулятор KR 16 ARC HW. позиціонер KP3-V2H250 та допоміжна оснастка, яка задовольняє вимогам щодо вантажопідйомності, точності та швидкодії.

Для управління роботизованим комплексом використано систему KR C4, що складається з компонентів SafetyControl, RobotControl, MotionControl і LogicControl, які мають загальну базу даних та інфраструктуру.

Наведені способи, та типові послідовності юстування та калібрування обладнання.

Висновок

Під час виконання дипломної роботи було проведено аналіз рішень, що існують для систем автоматизованого зварювання металевих деталей які мають складний профіль з'єднання. На підставі літературного огляду визначено загальне компонування роботизованої системи та розроблена її інформаційна модель.

Обрано найбільш оптимальні компоненти для реалізації роботизованої системи та допоміжне обладнання.

Складено схему системи управління роботом для автоматизованого зварювання металевих деталей верхньої дуги комбайна.

Наведено оптимальний спосіб юстування та калібрування, як автоматизованої системи в цілому, так і самого зварювального робота.

Розроблена інформаційна модель системи автоматизованого зварювання металевих деталей які мають складний профіль є основою для побудови економічно-вигідного та конкурентоспроможного промислового зразку.

Список використаної літератури

1. Зуєв Ф.Г., Лотков В.А. Довідник з транспортних та вантажно-розвантажувальних машин. М: Машинобудування, 1983 р.
2. Довідник технолога машинобудівника У 2х т. / Под ред. А.Г. Косилової та Р.К. Мещерякова 4-те вид. перероб. та допов. - М: Машинобудування, 1986р.
3. Промислові роботи. Довідник Козирев Ю.Г. 2-ге вид. перероб. та допов. - М: Машинобудування, 1988р.
4. Проектування автоматизованого виробництва та обладнання. Навчальний посібник для вузів. Кузнєцов М.М. та ін- М.: Машинобудування, 1987р.
5. Механіка промислових роботів. Навчальний посібник для ВНЗ. У 3х т. / Под ред. К.В. Фролова., Є.І. Воробйова. т.3 Основи конструювання.- М.: Вища школа, 1989р.
6. Карнаухов Н.Ф. Електромеханічні модулі мехатронних систем. Основи розрахунку та проектування: Навчальний посібник. - Ростов-на-Дону: Видавничий центр ДДТУ, 2001 р.
7. Гришин Механічні захватні пристрої промислових роботів. М: Машинобудування, 1991 р.
8. Промислові роботи у машинобудуванні. Альбом схем та креслень. Солом'янців Ю.М. М.: "Машинобудування" 1991 р.
9. Н.С. Львів та Е.А. Гладков "Автоматика та автоматизація зварювальних процесів".
10. Зварювання в СРСР. Т. 1. Розвиток зварювальної техніки й науки про зварювання: Технологічні процеси, зварювальні матеріали й устаткування / Редкол.: В. А. Винокурів (отв. ред.), Ю. А. Анісімов, І. А. Антонов і ін.- М.: Наука. 1981.-533 с.\

11. Устаткування для електронно-променевого зварювання/А. І. Чвертко, ПРОО- К. На-заренко, А. М. Святский, А. І. Некрасов — К.: Наук, думка, 1973.- 408 с.
12. Широковский Р. М., Паченцев Ю. А., Шигельский В. М. Фотоелектричний датчик системи автоматичного напрямку електрода дугової установки по стикові//Автомат, зварювання.-1967,-№ 9, -З. 53-56.
13. Автоматизація електронно-променевого зварювання корпусів реле / Н. Ф. Киселевский, Л. І. Костенко, В. А. Васильєв і ін.// Зварювальне в.- 1973.- №5.- С. 18-20
14. Воронін Ф. В., Шаринів В. І. Електромагнітна сумісність зварювального й телевізійного встаткування. Електротехн. пром-сть. Сірій. Електрозварювання.- 1974.- № 1 (22).-З. 19-21.
15. Лебедєв А. В. Структурна схема процесу саморегулювання дуги при переносі металу з короткими замиканнями // Автомат, зварювання.- 1978.- № 5.-З. 7-12.
16. Лебедєв А. В., Супрун С. А. Вибір привода подачі електродного дроту напівавтомата для дугового зварювання // Автомат, зварювання.- 1977.-. № 3.- С. 4- 8.
17. Миколаїв Г. А., Куркин С. А., Винокурів В. А. Зварені конструкції: Технологія виготовлення, автоматизація пр-ва й проектування зварених конструкцій.- М.: Высш. шк., 1983.- 344 с.
18. Патон Б. Е. Проблеми комплексної автоматизації зварювального виробництва.: Докл. на междунар. семінарі по автоматизації зварювального пр-ва.- К., 1980.- И с
19. Потапьевский. Г. Зварювання в захисних газах електродом, що плавиться.- М.: Машинобудування, 1974.- 239 с.
20. Зварювання з електромагнітним перемішуванням / Під ред. В. П. Черныша.- К.: Техніка, 1983.- 128 с.

21. Kodama, S.; Ishida, Y.; Furusako, S.; Saito, M.; Miyazaki, Y.; Nose, T. Arc welding technology for automotive steel sheets. *Nippon Steel Tech. Rep.* **2013**, *103*, 83–90.
22. Uchihara, M. Joining technologies for automotive steel sheets. *Weld. Int.* **2011**, *25*, 249–259.
23. Shin, S.; Rhee, S. Porosity characteristics and effect on tensile shear strength of high-strength galvanized steel sheets after the gas metal arc welding process. *Metals* **2018**, *8*, 1077.
24. Chu, Y.X.; Hu, S.J.; Hou, W.K.; Wang, P.C.; Marin, S.P. Signature analysis for quality monitoring in short-circuit GMAW. *Weld. J.* **2004**, *83*, 336–343.
25. Kingma, D.P.; Lei Ba, J. Adam: A method for stochastic optimization. In Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations, San Diego, CA, USA, 7–9 May 2015; pp. 1–15
26. Kang, M.J.; Rhee, S. A study on the development of the arc stability index using multiple regression analysis in the short-circuit transfer region of gas metal arc welding. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B: J. Eng. Manuf.* **2001**, *215*, 195–205.
27. Na, S.J.; Moon, H.S. Signal processing algorithm for analysis of welding phenomena. *J. Weld. Join.* **1996**, *14*, 24–32.
28. Delgado, M.R.; da Silva, R.D.; Centeno, T.M. Deep neural networks based approach for welded joint detection of oil pipelines
29. Bacioiu, D.; Melton, G.; Papaelias, M.; Shaw, R. Automated defect classification of SS304 TIG welding process using visible spectrum camera and machine learning. *NDT E Int.* **2019**, *107*, 102139 in radiographic images with Double Wall Double Image exposure. *NDT E Int.* **2019**, *105*, 46–55.
30. Suyama, F.M.; Delgado, M.R.; da Silva, R.D.; Centeno, T.M. Deep neural networks based approach for welded joint detection of oil pipelines in radiographic images with Double Wall Double Image exposure. *NDT E Int.* **2019**, *105*, 46–55.