

О. Л. Гайдамак

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. Л. Гайдамак

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник що забезпечує теоретичний матеріал дисципліни „Автоматичне керування зварюванням» у частині автоматизації дугового зварювання для студентів зі спеціальності 7.092303 “Технологія й устаткування для відновлення та підвищення зносостійкості машин та конструкцій”. Протокол №8 від 31.03.2005р.

Вінниця ВНТУ 2006

УДК 65.011.56; 621.79(07)
Г14

Рецензенти:

В.А.Огородніков, доктор технічних наук, професор
І.О.Сівак, доктор технічних наук, професор
О.В.Нахайчук, кандидат технічних наук, доцент.

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Гайдамак О. Л.,
Г14 **„Автоматизація дугового зварювання”** Навчальний посібник. –
Вінниця: ВНТУ, 2006. – 67 с.

Навчальний посібник забезпечує теоретичний матеріал дисципліни „Автоматичне керування зварюванням» у частині автоматизації дугового заварювання зі спеціальності “Технологія й устаткування для відновлення та підвищення зносостійкості машин та конструкцій”.

Посібник розроблено у відповідності з планом кафедри.

УДК 65.011.56; 621.79(07)

О.Л. Гайдамак, 2006

Зміст

1 Характеристика об'єкта керування.....	4
2 Програмне керування переміщеннями робочих органів зварювального устаткування	7
2.1 Системи числового програмного керування (ЧПК).....	10
3 Системи програмного керування зварювальними циклами.....	12
3.1 Програмне керування циклом механізованого зварювання в середовищі захисних газів	12
3.2 Програмне керування циклом зварювання електродом, що не плавиться.....	17
4 Системи автоматичного регулювання дугового зварювання.....	19
4.1 Саморегулювання дуги з плавким електродом	19
4.2 Системи автоматичного регулювання дугового зварювання.....	21
4.3 Системи автоматичного регулювання довжини дуги.	24
4.4 Системи автоматичного регулювання вильоту (АРВ) електрода.	25
5 Системи керування формуванням і геометричними розмірами швів	30
6 Автоматизація керування положенням зварювального пальника при зварюванні і наплавленні	34
6.1 Слідкуючі системи (пристрої) з регуляторами прямої дії.....	37
6.2 Слідкуючі системи з регуляторами непрямої дії.....	41
6.3 Слідкуючі системи з фотоелектричними датчиками	42
6.4 Слідкуючі системи з телевізійними датчиками.....	43
6.5 Слідкуючі системи з електророзрядними датчиками	48
6.6 Слідкуючі системи з електромагнітними датчиками.....	50
8 Керування перенесенням електродного металу	57
9 Системи магнітного керування формуванням і кристалізацією зварних швів	61
Список використаної та рекомендованої літератури	65

1 Характеристика об'єкта керування

Мета автоматизації зварювальних процесів – отримання зварних з'єднань з необхідними властивостями та найкращими техніко-економічними показниками без безпосередньої участі людини

Забезпечення необхідного рівня якості зварних конструкцій та їх експлуатаційної надійності, підвищення продуктивності та покращення умов праці вимагає комплексної автоматизації зварювальних процесів.

Для вивчення особливостей технологічного процесу дугового зварювання як об'єкта регулювання розглянемо узагальнену схему зварювального процесу (рис. 1) з урахуванням основних взаємозв'язків, властивих методу дугового зварювання. Тут можна виділити два внутрішніх замкнутих контури регулювання. За допомогою контуру 1, що охоплює джерело живлення, електрод, що плавиться, і дугу, реалізується процес саморегулювання електрода. Контур 2 охоплює зварний шов, електрод, дугу і відображає вплив прогину вільної поверхні зварювальної ванни і глибини проплавлення на довжину дуги.

Кінцевим елементом схеми є зварний шов, геометричні розміри якого – глибина проплавлення H , ширина B , підсилення A , – поряд з хімічним складом і структурою, визначають експлуатаційні властивості зварного з'єднання. У реальних умовах кожний з елементів, зображених в узагальненій схемі, функціонує в умовах збурювань, що призводить до відхилень розмірів зварного шва від установлених значень і появи дефектів: непроварів, підрізів, напливів і ін. Найбільший практичний інтерес викликає вивчення впливу на зварний шов таких основних груп збурювання.

Збурювання параметрів режиму зварювання безпосередньо впливають на процеси плавлення основного й електродного металів і їхнє співвідношення в металі шва. Так, глибина проплавлення пов'язана зі зварювальним струмом залежністю:

$$H = k_{\text{пр}} I_{\text{д}}$$

де $k_{\text{пр}}$ — коефіцієнт пропорційності, обумовлений полярністю і густиною струму, швидкістю зварювання, густиною металу, складом захисного середовища і т.д. Зі збільшенням струму зростає не тільки глибина проплавлення, але і частка основного металу в металі шва.

Збурювання по напрузі дуги впливають на ширину зварного шву і кількість основного металу у зварному шві і є однією з причин утворення підрізів при зварюванні кутових швів.

Зміни швидкості зварювання складним чином впливають на форму зварного шва. При малих швидкостях (10 м/год. при зварюванні під флюсом) унаслідок зниження інтенсивності витіснення розплаву з-під

стовпа дуги величина проплавлення мінімальна. Зі збільшенням швидкості зварювання до 25 м/год. проплавлення збільшується, а потім через зниження погонної енергії – зменшується. Таким чином, у залежності від установленної швидкості зварювання її зміни можуть бути пов'язані зі змінами глибини проплавлення як прямої, так і оберненої залежності. Ширина шва пов'язана зі швидкістю зварювання оберненою залежністю.

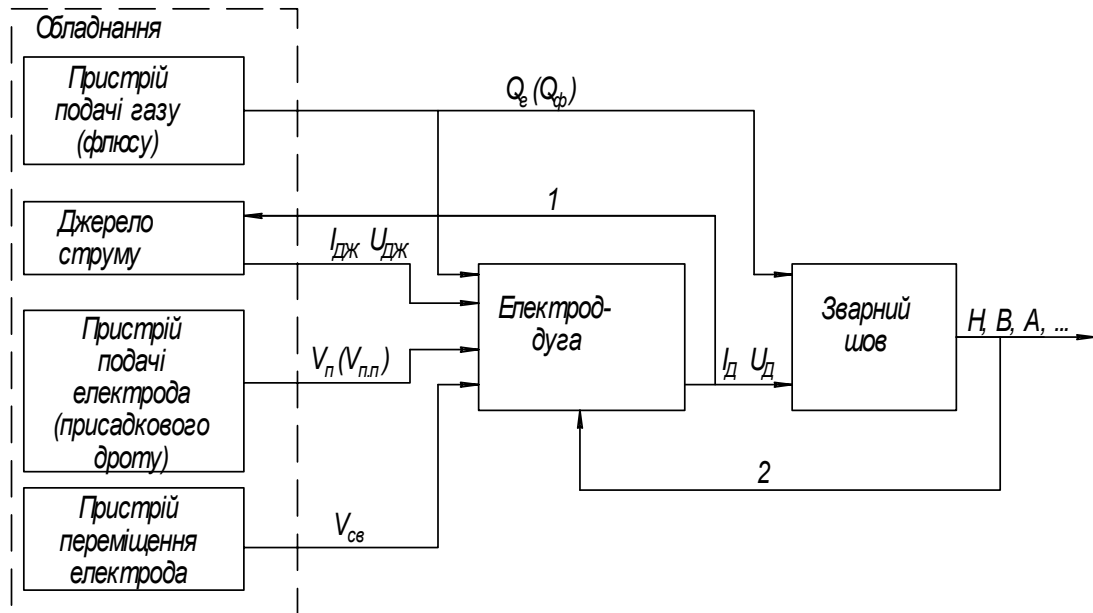


Рисунок 1 – Функціональна схема контуру дугового зварювання

$Q_g(Q_{ph})$ – витрати газу(флюсу). $I_{дж}$, $U_{дж}$ – струм та напруга джерела живлення. $V_n(V_{пл})$ – швидкість подачі електрода (присадкового дроту). $V_{св}$ – швидкість зварювання. I_d , U_d – струм та напруга дуги. Параметри зварного шва H – глибина проплавлення, B – ширина, A – підсилення

Зміни вильоту електрода, особливо при зварюванні електродним дротом малого діаметра, істотно впливають на форму шва. Це обумовлено тим, що зміни вильоту електрода істотно впливають на продуктивність його розплавлення, в результаті чого змінюється струм, а отже, і глибина проплавлення H . Зі збільшенням вильоту - H зменшується.

Порушення умов газового захисту впливає на форму і якість зварного шва. Виникнення турбулентності газового потоку і підсмоктування повітря в зону зварювання як наслідок відхилень витрати захисного газу, зміни відстані між пальником і зварювальною ванною, протягів і т.д. призводить до порушення стійкості процесу та утворення дефектів у зварних швах.

Технологічні збурювання, обумовлені порушеннями технології підготовки і складання виробів під зварювання, у багатьох випадках є основною причиною відхилень від заданих розмірів зварних швів і появи в

них небезпечних дефектів. Так, наявність іржі, вологи, олії, фарби й інших речовин на поверхнях, що зварюються, а також підвищений зміст вологи у флюсі, захисному газі призводить до утворення щілин у зварному шві. При збільшеному зазорі між кромками деталей що зварюються, при зварюванні під флюсом на флюсовій підкладці, в зварному шві першого проходу часто виникає пустота заповнена жужелем, так званий жужільний канал. Збільшений зазор у стику приводить до утворення таких небезпечних дефектів, як провисання шва і пропалення. Складання заготовок з перевищенням кромок призводить до утворення напливів і непроварення основи шва.

Не менш важлива умова одержання якісних зварних з'єднань – забезпечення точного розташування електрода стосовно кромок, що зварюються. Наслідком неточного напрямку дуги по осі з'єднання є непровари і підрізи в зварному шві.

Зростаючі вимоги до якості зварних з'єднань можуть бути задоволені лише на основі використання систем автоматичного керування (САК) процесом дугового зварювання, що виконують такі функції:

1. Програмне керування переміщеннями робочих органів зварювального устаткування.
2. Керування послідовністю операцій зварювальними циклами.
3. Стабілізацію режиму зварювання, що забезпечує усунення впливу на зварний шов збурювань за струмом і напругою дуги, швидкості зварювання, вильоту електрода, довжини дуги, витрат захисного газу й ін.
4. Автоматизацію напрямку електрода по осі зварного з'єднання за допомогою слідкуючих систем.
5. Компенсацію окремих технологічних збурювань. Наприклад, за допомогою введення присадкового дроту без додаткового вкладення енергії вдається компенсувати, в обмежених межах, збільшення площі обробки кромок.
6. Керування перенесенням металу, формуванням і кристалізацією зварних швів.

Останнім часом розробляються системи, що здійснюють автоматичне керування з використанням математичних моделей процесу утворення зварного з'єднання з урахуванням деяких технологічних збурювань. Однак на сучасному рівні розвитку зварювальної техніки неможливо компенсувати деякі технологічні збурювання, наприклад: зміну хімічного складу основного і присадкового матеріалів, захисного середовища; зміну умов відведення тепла від області утворення шва при змінній геометрії виробу і т.д.

У залежності від мети керування застосовують різні САК дуговим зварюванням.

2 Програмне керування переміщеннями робочих органів зварювального устаткування

Положення робочих органів зварювального устаткування визначається координатами ланок маніпуляційних систем. У залежності від характеру керування системи програмного керування (СПК) переміщеннями можуть бути розділені на *позиційні* і *контурні* (рис. 2). Перші забезпечують послідовне позиціонування з необхідною точністю робочого органу з однієї точки простору в іншу. Позиційні системи можуть бути двох різновидів: 1) для керування положенням зварювального інструменту щодо виробу без сталої регламентації траєкторії переміщення між точками; 2) для керування руху по траєкторії, ділянки якої повторюють форму напрямних.

Позиційні СПК координатами ланок застосовуються для автоматизації таких технологічних операцій: зварювання електрозаклепками, дугова приварка шпильок і бобишек, вварювання труб у трубні дошки, багатопрохідного зварювання (для розкладки зварних валиків по перерізу оброблення) і т.д.

Контурні СПК застосовуються для забезпечення руху із заданою контурною швидкістю в будь-якій точці траєкторії (зварювання криволінійних і просторових швів, наплавлення складних поверхонь, термічне різання і т.д.). Контурні системи складніші позиційних, але вони можуть використовуватися для контурного і позиційного керування.

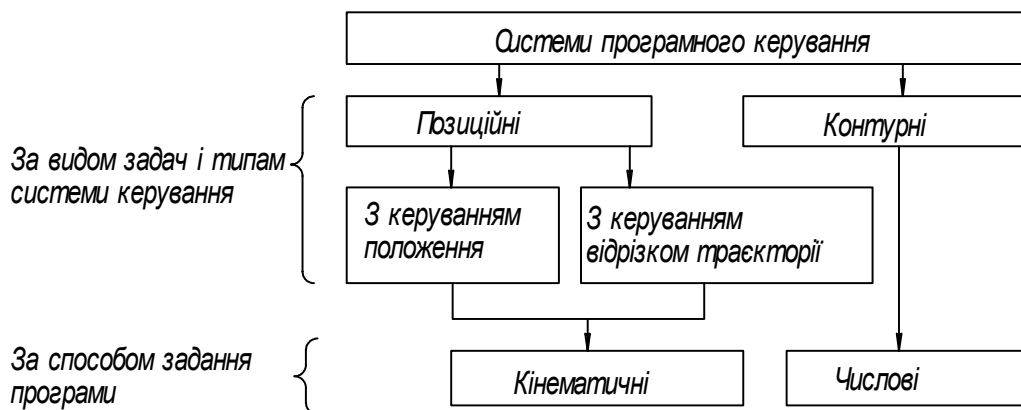


Рисунок 2 – Класифікація систем програмного керування координатами ланок маніпуляційних систем зварювального устаткування

За способом задання і відпрацювання програми, а також видом застосовуваних технічних засобів СПК переміщеннями робочих органів зварювального устаткування їх доцільно розділити на кінематичні і числові.

Системи кінематичного програмного керування (рис. 3). Характерною рисою систем цього типу є задання величини і траєкторії

переміщень у вигляді змінюваних або переналагоджуваних геометричних аналогів (моделей).



Рисунок 3 – Класифікація систем кінематичного програмного керування координатами ланок маніпуляційних систем устаткування для дугового зварювання і наплавлення

Позиційні системи кінематичного керування з постійним циклом передбачають зміну програми лише для величин керованих координат і не передбачають можливості зміни послідовності роботи виконавчих елементів, що визначаються частиною системи керування, яка не перебудовується. Ці системи застосовуються при зварюванні ряду виконань одного виробу, що відрізняються відстанями між точками або лініями зварювання, або різними довжинами швів, але зварюються в незмінній послідовності, наприклад, при багатошаровому дуговому зварюванні у вузьких і глибоких зазорах або обробленнях незмінної ширини в два або три проходи в шарі.

Позиційні системи кінематичного керування з змінним циклом передбачають зміну за заданою програмою величин керованих координат і послідовності дії виконавчих елементів. Такі системи звичайно називають системами циклового програмного керування (ЦПК). У простих системах ЦПК послідовність елементів циклу задається на штекерних панелях, наборах перемикачів, діодних матрицях, а величини переміщень –

положенням колійних вимикачів, що знижує функціональну гнучкість устаткування.

Контурні системи кінематичного програмного керування ґрунтуються на застосуванні таких технічних засобів автоматичного копіювання (шаблонів, кулачків, копіїв), контури є геометричними аналогами (моделями) необхідних траєкторій переміщення.

Системи з пасивним копіюванням характеризуються тим, що щуп стикається із шаблоном під дією пружин, стиснутого повітря, тиску робочої рідини, сил ваги або приводів окремих ланок маніпуляційної системи. При цьому копіювання може здійснюватися системами прямої дії, у яких зварювальний інструмент жорстко зв'язаний із щупом, і системами непрямої дії, в яких зварювальний інструмент жорстко зв'язаний з корпусом датчика положення шаблону. Переміщення зварювального інструмента в напрямку копіювання здійснюються приводом, керованим від датчика через регулятор і підсилювач потужності. У системах непрямої дії, що копіюють шаблони, найчастіше застосовуються фотоелектричні датчики, а в якості програмоносія – креслення, фотошаблони або непрозорі маски. Такі системи широко застосовуються в устаткуванні для термічного різання.

Для автоматизації переміщень при наплавленні тіл обертання застосовуються однокоординатні системи прямого і непрямого копіювання.

Багатокоординатні системи з пасивним копіюванням на відміну від однокоординатних мають два або більше копіювальних рухів, що можуть бути незалежними між собою або взаємозалежними.

Багатокоординатні системи з незалежними копіювальними рухами, це комбінація двох (у рідких випадках – більше) однокоординатних систем. Звичайно такі системи застосовуються для керування рухом по нестрого орієнтованих траєкторіях і по траєкторіях, для яких вектор контурної швидкості повертається в межах 90° (системи із залежним заданим рухом).

Багатокоординатні системи з незалежними копіювальними рухами, застосовуються також при зварюванні швів складної форми зі зміною напрямку вектора контурної швидкості в межах, більших ніж 90° (аж до 360°), якщо загальна величина переміщень по кожній з координат невелика (до 100-150 мм). У цьому випадку необхідний закон зміни кожної з координат може бути заданий окремим кулачком, а сумарний рух по заданій траєкторії забезпечується синхронним обертанням або переміщенням усіх кулачків зі швидкістю, пропорційною необхідній величині контурної швидкості $V_{\text{конт}}$.

Оскільки зі збільшенням розмірів робочої зони кулачкові механізми стають громіздкими, такі рішення прийнятні тільки при зварюванні швів малих розмірів. З тієї ж причини маніпуляційні системи,

керовані таким способом, повинні мати переносні рухи, не залежні від орієнтувальних. Синхронний і синфазний рух (обертання) усіх кулачків може бути забезпечено жорстким кінематичним ланцюгом.

Системи з активним копіюванням шаблонів широко застосовуються для автоматизації термічного різання і зварювання плоских суцільних швів складної форми. У цих системах копіювання шаблону здійснюється шляхом його обкатування приводним роликом-щупом. Кінематичний зв'язок приводного ролика із шаблоном виконується або за рахунок сил тертя, забезпечуваних пружинним або електромагнітним притиском ролика до шаблону, або шляхом застосування зубчастої або цівкової передачі. Виріб кріпиться нерухомо щодо шаблону. Рух уздовж заданого контуру здійснюється або за рахунок переміщення (обертання) виробу із шаблоном, або за рахунок переміщення зварювального інструмента щодо нерухомих шаблону і виробу, або при одночасному русі виробу й інструменту-системи з активним копіюванням, застосовуються в багатосерійному і масовому виробництві зварних конструкцій ємностей (цистерн, каністр і т.п.) у формі еліпса, прямокутника з заокругленнями кутів і інших форм.

2.1 Системи числового програмного керування (ЧПК)

Характерною рисою систем цього типу є представлення інформації про величини і траєкторії переміщень, а також про параметри режимів в алфавітно-цифровому вигляді, а переробка цієї інформації здійснюється з застосуванням методів і технічних засобів обчислювальної техніки. Системи ЧПК – найбільш гнучкий засіб автоматизації маніпуляційних систем технологічного устаткування в цілому, у тому числі зварювального. Класифікація систем ЧПК для зварювання і наплавлення приведена на рис. 4.

Підготовка програми для позиційних систем полягає у визначенні збільшення координат, які необхідно відробити при переході в кожну послідовну позицію, або абсолютних значень координат цієї позиції (у залежності від типу системи). При великому числі програмувальних позицій у якості програмоносія застосовують перфострічку, масиви перфокарт, магнітні диски, стрічки, барабани, а при невеликому числі позицій – одну (іноді спеціальну) перфокарту, перфодиск, штекерні панелі (стаціонарні і змінні), діодні матриці, блоки тумблерів і багатопозиційні перемикачі. Сучасні позиційні пристрої ЧПК мають оперативну пам'ять на всю програму. Програма вводиться в оперативну пам'ять з перфострічки або іншого носія один раз, після чого перфострічка не використовується при обробці даної партії виробів.

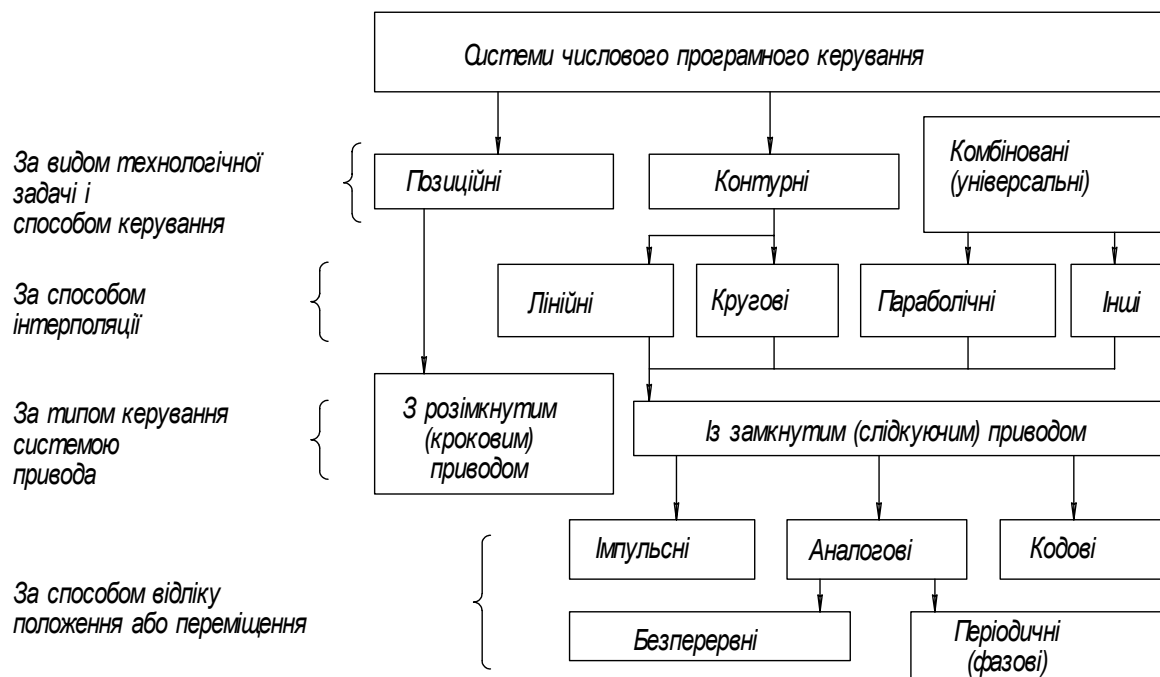


Рисунок 4 – Класифікація систем ЧПК координатами ланок маніпуляційних систем устаткування для дугового зварювання

Докладний опис різновидів позиційних систем ЧПК, їхніх структур, пристроїв введення програми можна знайти в роботі [1].

Контурні системи ЧПК є більш складними, але разом з тим більш гнучкими й універсальними.

Підготовка програми переміщень для контурних систем ЧПК ґрунтується на аналітичному визначенні координат характерних точок траєкторії, вказанні типу кривої, характеру і швидкості руху. Такий спосіб підготовки програми називають зовнішнім програмуванням.

У зварювальному виробництві застосовують загальнопромислові пристрої ЧПК, що випускаються серійно, які дозволяють:

1. Виключити розробку додаткових пристроїв ЧПК і їхніх модифікацій, призначених для зварювальних операцій.
2. Використовувати серійні, відносно недорогі пристрої ЧПК, освоєні експлуатаційними службами підприємств і забезпечені централізованим сервісом і запчастинами.
3. Спростити в цілому процес упровадження зварювального устаткування з ЧПК.

Оптимальною є така послідовність використання систем ЧПК, при якій розробка засобів автоматизації зварювального виробництва передбачає максимальне використання серійних пристроїв ЧПК (з необхідною доробкою) і одночасне здійснення перспективних розробок зі створення методів і технічних засобів, які найбільше підходять для автоматизації процесів зварювання.

Для задач, пов'язаних з керуванням послідовними положеннями

робочих органів зварювального устаткування, використовують позиційні пристрої (ПП).

Верстати й установки з програмним керуванням переміщеннями широко застосовуються в зварювальному виробництві, особливо в зв'язку з автоматизацією і роботизацією важких і шкідливих для здоров'я людини робіт.

3 Системи програмного керування зварювальними циклами

Найбільш прості програми керування зварювальними циклами виконуються при механізованому дуговому зварюванні під флюсом і в захисних газах. Програма роботи цих пристроїв закладена сталою вже на етапах розробки і виготовлення устаткування і тому будь-які її зміни в процесі експлуатації утруднені, оскільки це пов'язано з перебудовою електричної і кінематичної схем. Найпоширеніший спосіб подання програми – опис. Описи розділяються за ступенем формалізації. Найменш формалізованим є змістовний опис природною мовою, до якого для більшої ясності і наочності можуть додаватися таблиці, діаграми й інший ілюстративний матеріал.

Широке поширення для опису програми роботи устаткування одержали циклограми. Циклограми аналогічні тимчасовим діаграмам і відрізняються від останніх лише тим, що їх креслять без дотримання масштабу часу. Програму роботи устаткування можна зобразити також у вигляді блок-схеми алгоритмів, графа функціонування [2] і іншими способами. Нижче розглядаються системи програмного керування зварювальними циклами дугового зварювання, для опису яких використані найбільш розповсюджені на практиці способи зображення алгоритму.

3.1 Програмне керування циклом механізованого зварювання в середовищі захисних газів

На рис. 5 приведена циклограма роботи блока програмного керування зварювальним напівавтоматом, створеного спільно ІЕЗ ім. Є. О. Патона АН УРСР і ВНПЕСО й освоєного в серійному виробництві. Блок дозволяє здійснити керування процесами зварювання довгих, коротких швів і зварювання точками.

Зварювання довгих швів починається після однократного натискання і відпускання командної кнопки «пуск», розташованої на рукоятці пальника (рис. 5,а). При цьому спрацьовує клапан газовідсіку і через нерегульований час, рівний 0,5 с (на тимчасовій осі циклограми ця витримка часу не показана), включається двигун подачі електродного дроту і джерело зварювального струму. При замиканні електрода на металі, що зварюється, збуджується дуга і починається зварювання, яке продовжується до повторного натискання кнопки на пальнику. Після цього зупиняється

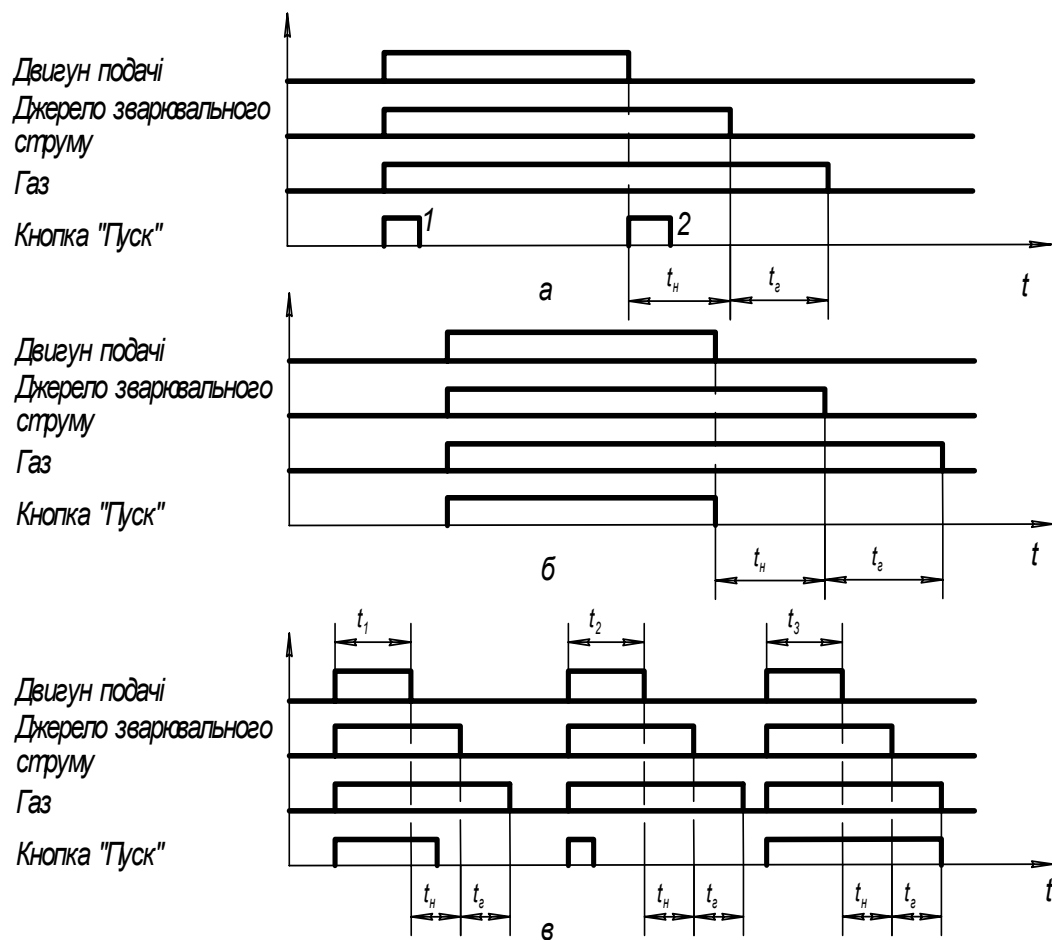


Рисунок 5 – Циклограма роботи блоку програмного керування зварювальним напівавтоматом у режимах:

а) зварювання довгих швів; б) зварювання коротких швів; в) зварювання точками

двигун подачі електродного дроту, відбувається обгорання дроту і дуга гасне. З витримкою часу t_H відключається джерело зварювального струму, потім протягом часу t_2 відбувається обдув кратера і розігрітого металу шва захисним газом.

При зварюванні коротких (рис. 5,б) швів кнопка на пальнику залишається натиснутою і програма завершення процесу зварювання починається після її відпускання.

У режимі зварювання точками (рис. 5,в) двигун подачі електродного дроту включається на певний час, заданий зварником за допомогою регульованого резистора, вісь якого виведена на передню панель блока керування. Подача електродного дроту відбувається протягом заданих інтервалів часу t_1, t_2, t_3 , які не залежать від тривалості натискання кнопки, розташованої на пальнику. Програма завершення процесу зварювання відбувається автоматично після відключення двигуна.

Програмне керування циклом автоматичного зварювання плавким електродом. Пристрій програмного керування забезпечує цикл зварювання в середовищі захисних газів або під флюсом у наступних режимах:

1. Автоматичний режим — після натискання кнопки «пуск» весь цикл зварювання, починаючи з певної вихідної позиції, здійснюється без особистої участі оператора.
2. Напівавтоматичний режим, при якому зварювання можна здійснювати, починаючи з будь-якої позиції на вибір оператора. При цьому режим зварювання на окремих ділянках шва може бути змінений.
3. Налаштовувальний режим, використовуваний для настановних рухів зварювального інструмента, а також при налаштовувальних і ремонтних роботах. Джерело зварювального струму в цьому режимі відключене.

Спрощений алгоритм функціонування при пуску автомата для зварювання під флюсом зображений на рис. 6. Схема одержує команду «пуск» (символ 1), після чого перевіряються всі блокування (символ 2): наявність усіх механізмів об'єкта керування у вихідному положенні, води у системі охолодження, флюсу в бункері, виробу на зварювальній позиції і т.д. Якщо хоча б одне з блокувань спрацювало, то за одиничною умовою подається тривожний сигнал (символ 4). При нормальному стані блокувань здійснюється перехід із символу умови 2 до символу 3. Якщо реле часу t_1 не спрацювало, то вмикається джерело зварювального струму — символ 5. Символ 6 визначає умову збудження дуги. Дуга може збуджуватися при нерухомому зварювальному апараті, або зварювальному апараті що переміщується з малою швидкістю. Ця умова задається перемикачем, розташованим на пульті зварювального апарата і знаходиться в положенні «збудження на ходу», «збудження на місці».

При збудженні дуги «На ходу» за нульовою умовою символу 6 відбувається перехід до умовного символу «Напрямок зварювання» 34. На пульті зварювального апарата міститься перемикач напрямку зварювання. За умовами символу 34 здійснюється перехід на напрямок правого або лівого руху. Якщо зварювання ведеться в ліву сторону, то тоді через кінцевий вимикач 36 включається привід візка 38 для переміщення його вліво. Символ 39 задає швидкість цього переміщення, а також подає команду на включення флюсозаслонки 7.

За допомогою датчиків (наприклад, реле) напруги і струму дуги здійснюється збудження дуги. До початку виконання програми джерело зварювального струму включене, на проміжку електрод — виріб маємо напругу, але струм відсутній, тому що електрод не дотикається до виробу. За умовою U_d , I_d (8, 10) включається привід подачі електродного дроту (11—14) і при контакті його торця з поверхнею виробу створюються умови для збудження дуги. При наявності на поверхні металу окалини флюсу,

оксидних плівок і інших забруднень надійному збудженню дуги сприяє переміщення торця дроту по виробу при включеному приводі візка. При короткому замиканні електрода по виробі починає протікати струм I_d і напруга джерела зменшується майже до нуля, тобто формується умова U_d, I_d (8, 9), напрямок подачі електрода реверсується, електрод відривається від виробу (3—16). У момент збудження дуги формується умова U_d, I_d (8—10) і електрод починає подаватися в зону зварювання.

Можливий випадок, коли при відриві електрода дуга не збуджується — тоді знову виникне умова U_d, I_d , при якій електрод повторно подається до виробу. При відсутності дуги ланцюги (11—14) і (13—16) забезпечують зворотно-поступальне переміщення електрода до виробу до короткого замикання. Цей же ланцюг запускає реле часу t_1 (17), що після закінчення часу 3—5 секунд включає сигнал «Тривога» (4) і розриває ланцюг відпрацьовування алгоритму «пуск зварювання» (3). При нормальному збудженні дуги формується умова U_d, I_d , за якою запускається реле часу t_2 (12—15), що видає через 0,5 секунд сигнал на відпрацьовування програми зварювання початку шва (18, 20, 22). Швидкості візка і подачі електрода зростають (23, 24, 25), після чого запускається реле часу t_2 (26, 27) і т.д. Розглянутий алгоритм збудження дуги і початку зварювання застосовується для електродів діаметром до 4 мм при наявності вступних технологічних планок.

У тих випадках, коли збудження дуги здійснюють за допомогою осциляторів, після того, як відбудеться пробій високовольтною напругою дугового проміжку і з'явиться струм I_d , осцилятор відключають. Процес зварювання завершується за командою, поданою з пульта оператором-зварником або автоматично — від кінцевого вимикача. При цьому виконується програма заварювання кратера: знижуються швидкості зварювання і подачі електрода. Після зупинки візка та припинення подачі електродного дроту, електрод оплавляється і дуга гасне. Потім електрод на малій швидкості відводиться від виробу. На цьому процес зварювання завершується, система повертається у початковий стан.

Розглянутий алгоритм порівняно простий і може бути використаний при зварюванні труб великого діаметра, полотнищ і багатьох інших виробів. На практиці часто зустрічаються випадки, коли зварювальний процес здійснюється за значно складнішою програмою, яка передбачає поперечне переміщення електрода (розкладку зварних валиків), зміну струму, швидкості зварювання від проходу до проходу і т.д. Апаратура керування повинна містити пристрої, що запам'ятовують обрану програму і здійснюють її під час зварювання. У найпростіших випадках необхідна програма встановлюється за допомогою пристрою типу «колійний вимикач», що спрацьовує по шляху переміщення електрода

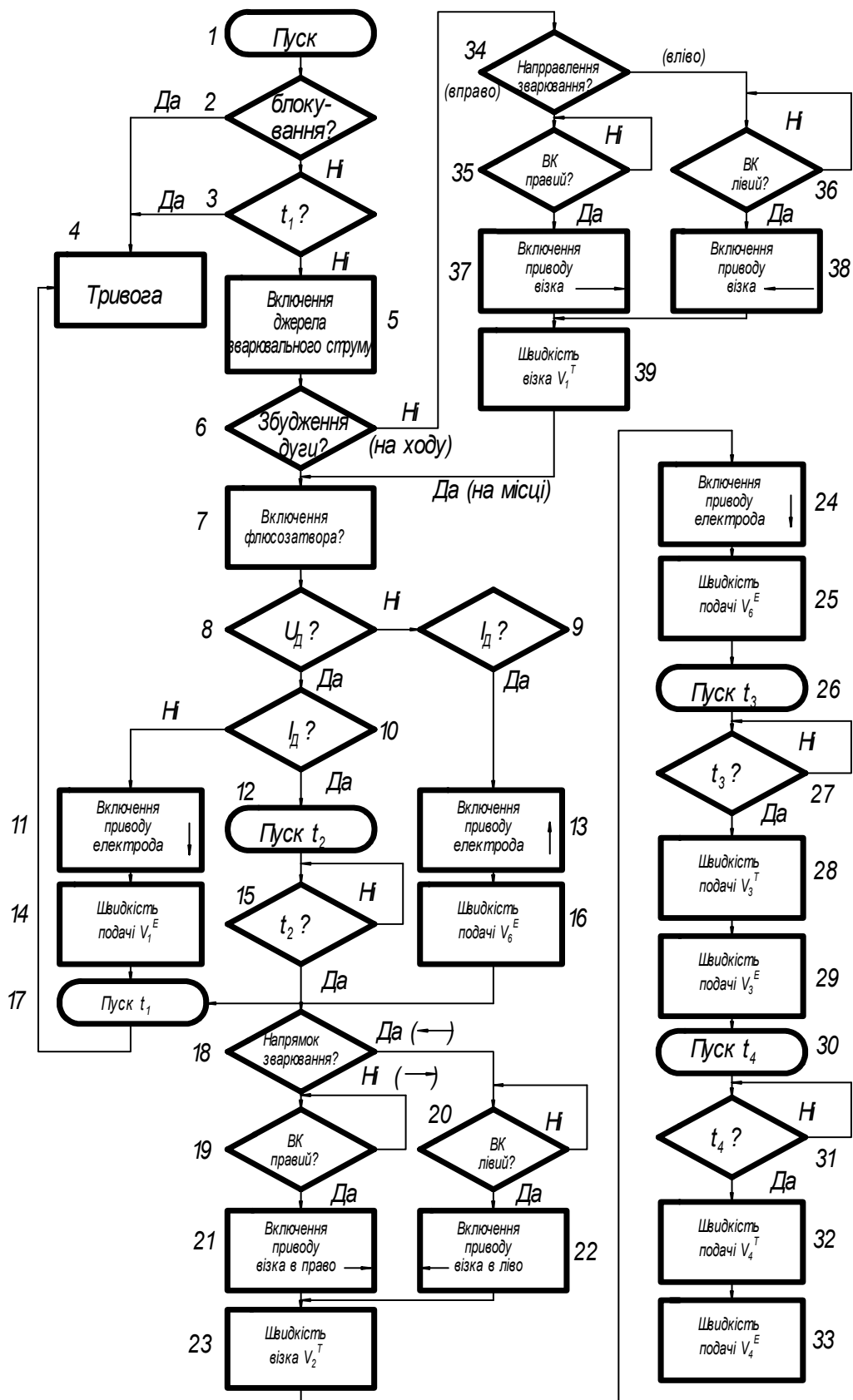


Рисунок 6 – Алгоритм функціонування автомата під час пуску

відносно виробу. У більш складних випадках системи керування доцільно будувати на базі обчислювальної техніки. При цьому система керування може виконувати контроль справності технологічного устаткування і документування виконання технологічного процесу. Найбільш складні цикли керування застосовуються при багатопрохідному зварюванні виробів великої товщини, наприклад в атомному машинобудуванні.

Зварювання цих виробів продовжується неспинно протягом декількох годин або навіть змін, причому одні параметри режиму зварювання повинні змінюватися за програмою, а інші підтримуватися постійними з високою точністю.

3.2 Програмне керування циклом зварювання неплавким електродом

Після натискання на кнопку «Пуск» включається реле часу, що задає тривалість попередньої продувки газу $t_{п.г}$ (рис. 7), потім включається осцилятор і збуджується дуга, після чого запускається реле часу: $t_{р.н.д}$ — затримки включення регулятора напруги дуги (РНД); $t_{з.п.р}$ — затримки включення програми подачі присадкового дроту; $t_{з.к}$ — затримки включення приводу каретки. Після відпрацювання тимчасової затримки $t_{р.н.д}$ включається РНД, що встановлює необхідну напругу на дузі або періодично змінює її (наприклад, при імпульсно-дуговому зварюванні) (на рис. 6 не показано). Потім реле часу включає привід подачі присадкового дроту і привід каретки. З моменту $t_{н.п}$ досягнення сталого значення $V_{пр}$ починається виконання робочого етапу програми ($t_{р.п}$), протягом якого параметри $I_{д}$, $U_{д}$, $V_{пр}$, $V_{к}$ і витрата захисного газу в найпростішому випадку не змінюються.

Закінчення циклу зварювання t_c відбувається за командою «Стоп зварювання» з пульта або від кінцевого вимикача. З цього моменту починається виконання кінцевого етапу програми $t_{к.п}$. При цьому запускається перший програматор струму дуги і протягом часу $t_{п.д}$ струм дуги знижується до значення $t_{п.д}$. Після цього запускаються: другий програматор струму дуги і програматор зниження швидкості подачі присадкового дроту. Програматор струму дуги впливає на РНД, що розтягує дугу до природного обриву, а програматор приводу подачі спочатку знижує швидкість подачі до нуля, замикає РНД, після чого привід подачі на час t_p реверсується і дріт відводиться від виробу. Після зупинки каретки захисний газ протягом часу $t_{з.о.}$ обдуває зварний шов і зварювальний цикл закінчується. Для багатьох установок при зварюванні плавким і неплавким електродами, цикл зварювання виявляється значно складнішим. При цьому доцільно використовувати універсальні вільно програмовані пристрої керування. Застосування таких пристроїв виправдано в установках для зварювання неповоротних стиків

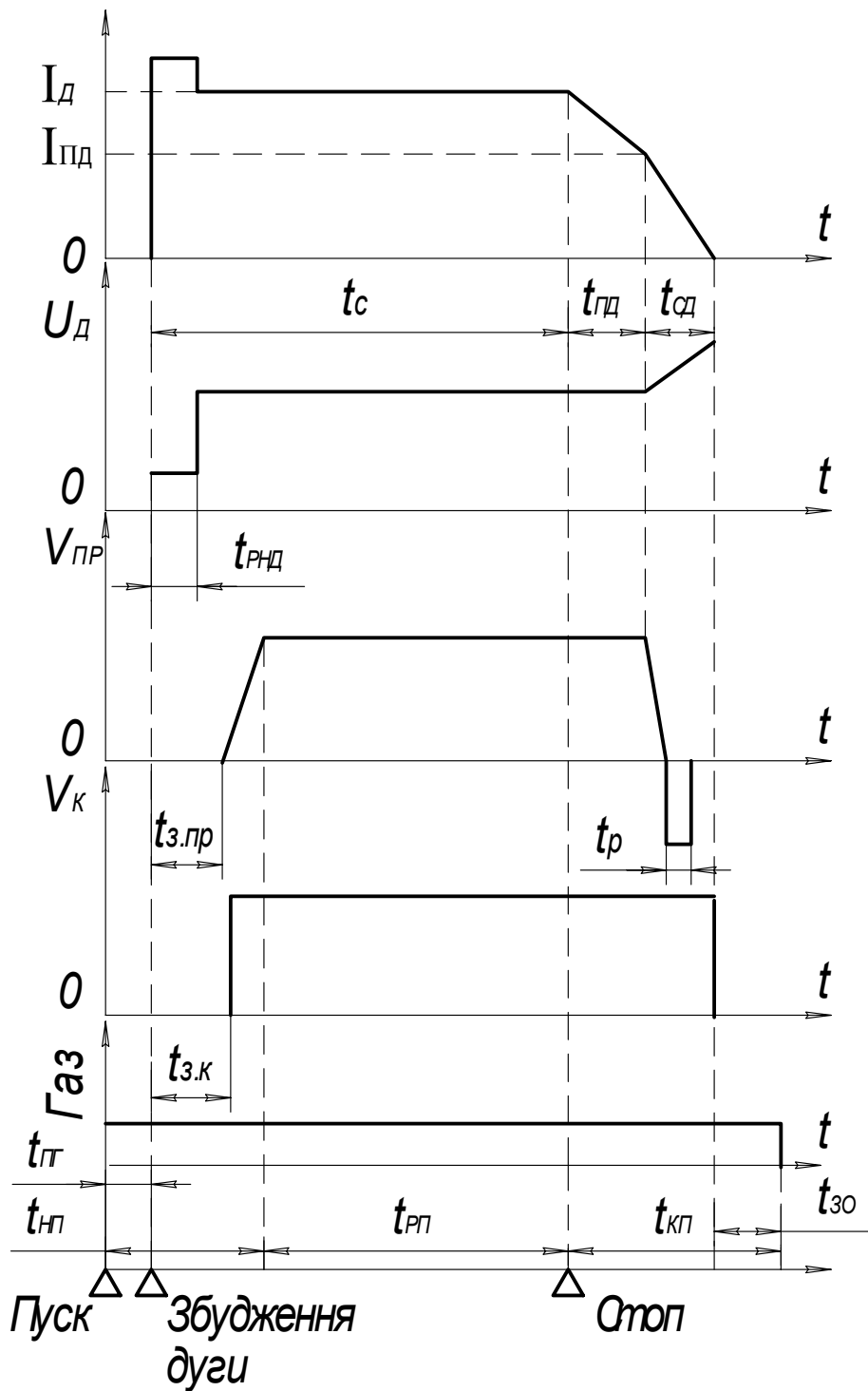


Рисунок 7 – Циклограма роботи пристрою керування устаткуванням для зварювання неплавким електродом

товстостінних труб, коли в залежності від положення в просторі зварювальної головки і номера проходу потрібно змінити режим зварювання, щоб забезпечити необхідне формування шва.

4 Системи автоматичного регулювання дугового зварювання

4.1 Саморегулювання дуги з плавким електродом

Особливістю електричних дуг при зварюванні плавким електродом, є притаманна їм властивість самовирівнювання енергетичного стану в умовах збурювальних впливів. Це явище називається саморегулюванням дуги; його використання дозволило створити автомати для дугового зварювання з постійною швидкістю подачі електродного дроту без застосування додаткових регуляторів.

Найбільш повний опис процесу саморегулювання можна одержати, якщо зобразити його структурною схемою, на якій окремі елементи зварювального контуру показуються сукупністю типових динамічних ланок, а взаємодія цих елементів — зв'язками у вигляді стрілок (рис. 8).

Структурну схему починають розглядати з вузла 0, тобто з точки прикладання задавальної величини V_n , яка потім переміщається в напрямку поширення сигналу.

До точки 0 прикладені можливі збурення v_n і v_3 (табл. 1), у результаті впливу яких відбувається зміна довжини дуги. Тому перетворення зміни швидкості переміщення кінця електрода в зміну довжини дуги відображено в схемі інтегрувальною ланкою I. Усяка зміна довжини дуги супроводжується відповідною зміною її напруги. Для звичайно застосовуваних зварювальних режимів зв'язок між змінами довжини дуги і її напругою є пропорційний, що зображено на схемі безінерційною ланкою II. Зміна струму, викликана зміною напруги яка залежить від опору джерела живлення, буде відбуватися із запізненням,

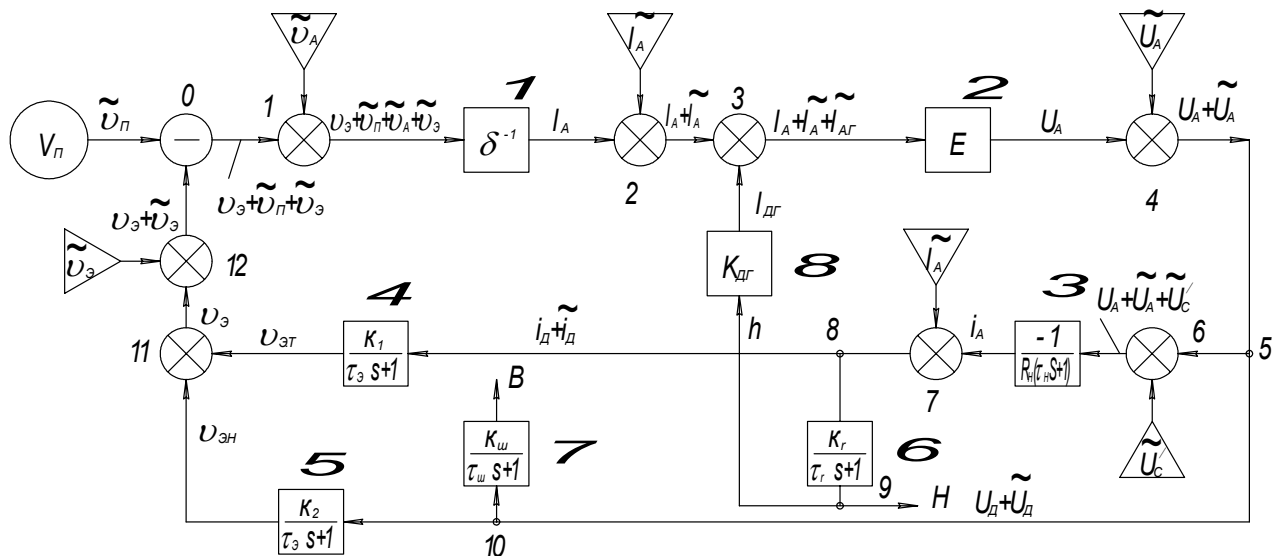


Рисунок 8 – Структурна схема процесу саморегулювання

Таблиця 1

Збудження	Фізичний зміст
$\tilde{v}_n, \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Коливання швидкості подачі внаслідок нестабільної роботи приводу подачі електрода
$\tilde{v}_э, \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Зміни швидкості плавлення електрода через зміни технологічних умов
$\tilde{v}_д, \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Відносна швидкість кінця електрода внаслідок нерівності поверхні, що зварюється
$\tilde{l}_д, \text{м}$	Зміни довжини дуги, викликані нерівністю профілю виробу, краплинним переносом металу електрода, флуктуаціями дуги і т.д.
$\tilde{u}_д, \text{В}$	Зміни напруги дуги внаслідок змін її фізичних параметрів
$\tilde{i}_д, \text{А}$	Зміни струму дуги внаслідок зміни параметрів джерела живлення, зварювального контуру і т.д.

що залежить від постійної часу джерела τ_n . Тому джерело живлення на схемі показане еквівалентною аперіодичною ланкою III.

Знак «—» означає, що при спадній зовнішній характеристиці джерела живлення збільшенню напруги відповідає зменшення струму і навпаки.

Відхилення струму і напруги дуги супроводжуються відповідними змінами швидкостей плавлення електрода $V_{эт}$ і $V_{эн}$. Зміни цих швидкостей плавлення відбуваються інерційно в залежності від постійної часу $\tau_э$ плавлення електрода (див. ланки IV, V). Вихідні сигнали контурів саморегулювання за струмом і напругою підсумовуються у точці 11, та надходять на вхід системи — вузол 0, у якому відбувається порівняння швидкості плавлення електрода зі швидкістю його подачі.

Зміни струму супроводжуються зміною глибини проплавлення, а зміни напруги приводять до зміни ширини шва. Ці процеси зображені аперіодичними ланками VI, VII, передатні функції яких містять коефіцієнти пропорційності K_r і $K_{ш}$ та постійні часу плавлення основного металу по глибині τ_r і ширині $\tau_{ш}$. Відхилення глибини провару приводить до зміни схованої складової довжини дуги $l_{дг}$, що зображено в схемі безінерційною ланкою VIII.

Таким чином, структурна схема описує динаміку саморегулювання, у процесі якого безупинно порівнюється задана швидкість подачі електрода зі швидкістю його плавлення, обумовленою поточними значеннями струму і напруги дуги. Результат саморегулювання дуги — збереження рівності $V_э = V_n$ в умовах відхилень режиму зварювання під дією збурювань.

Структурна схема є основою для визначення передатних функцій між досліджуваною величиною і збурюванням і наступним аналізом

динаміки перехідного процесу відомими методами теорії автоматичного регулювання [3]

На принципі саморегулювання дуги побудовані розповсюджені апарати для автоматичного і механізованого зварювання під флюсом і в захисних газах. Вони прості і надійні, не вимагають кваліфікованого обслуговування.

4.2 Системи автоматичного регулювання дугового зварювання

Системи автоматичного регулювання (САР) енергетичних параметрів дуги. Вже в перших автоматах для дугового зварювання для стабілізації довжини дуги була реалізована система автоматичного регулювання зі зворотним зв'язком за напругою дуги (АРНД). При зварюванні плавким електродом, сигнал зворотного зв'язку використовується для регулювання швидкості подачі $V_{\text{п}}$.

Спрощена структурна схема системи АРНД приведена на рисунку 8. Регулятор утворений ланками I—III, передатні функції яких пояснені в табл. 2.

Контур саморегулювання, утворений ланками IV—VIII. Зі схеми виключені ланки, що відображають процеси плавлення основного металу, тому що вони знаходяться поза замкнутими контурами регулювання, а джерело живлення прийняте безінерційним.

Систему АРНД із впливом на швидкість подачі доцільно застосовувати в тих випадках, коли висуваяться підвищені вимоги до точності стабілізації напруги (зварювання і наплавлення під керамічними флюсами, прецизійне наплавлення легованого шару і т.д.).

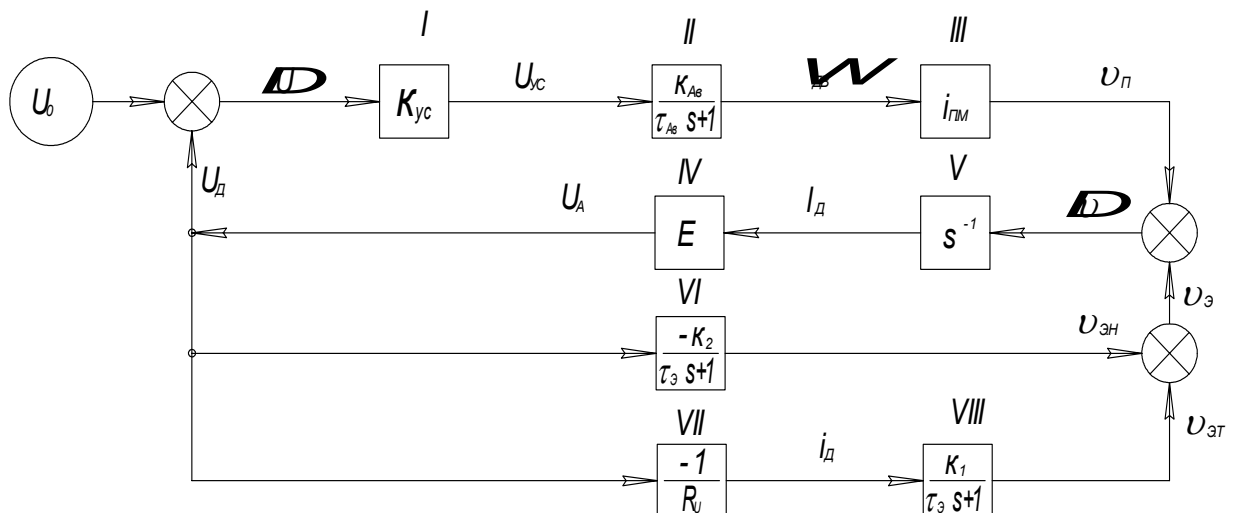


Рисунок 9 – Структурна схема системи АРНД із впливом на швидкість подачі

Таблиця 2

Позна- чення	Математичний смысл	Фізичний смысл
$i_{\text{пм}}$	$i_{\text{пм}} = \frac{V_{\text{п}}}{\Omega_{\text{дв}}}$	Передатне число редуктора механізму подачі
$k_{\text{дв}}$	$k_{\text{дв}} = \frac{\Delta \Omega_{\text{дв}}}{\Delta U_{\text{ус}}}$	Передатний коефіцієнт Двигуна по швидкості
$k_{\text{ус}}$	$k_{\text{ус}} = \frac{\Delta U_{\text{ус}}}{\Delta U}$	Коефіцієнт підсилення Підсилювача
$\tau_{\text{дв}}$	_____	Постійна часу електропривода

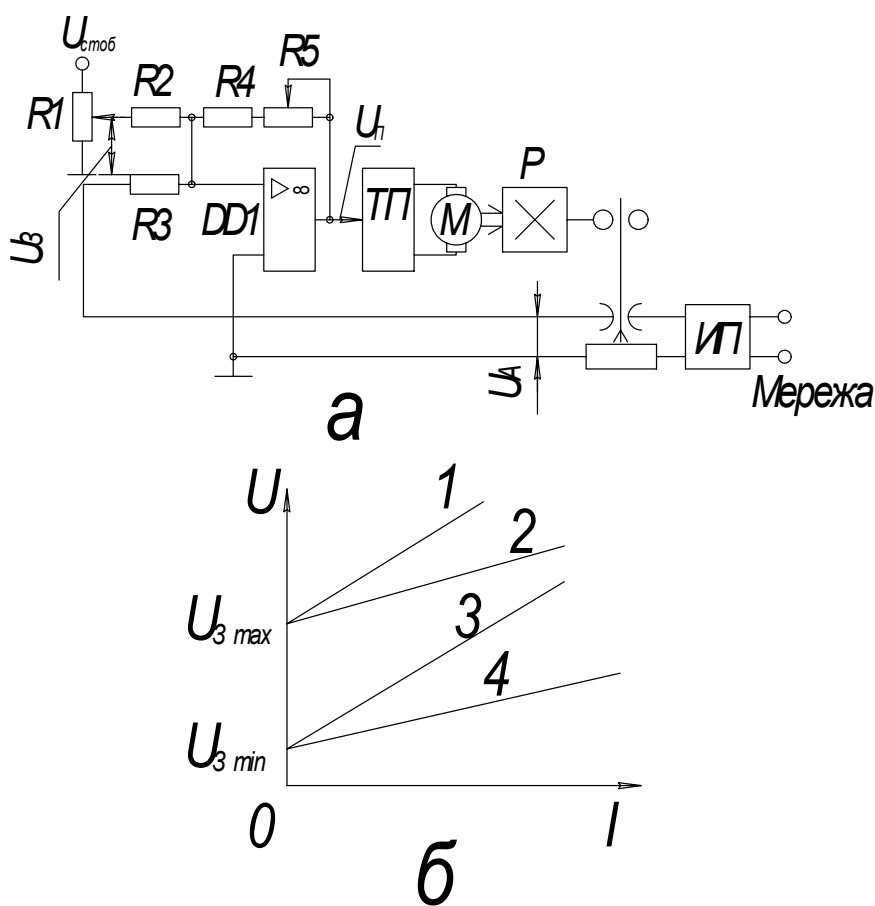


Рисунок 10 – Функціональна схема (а) і статичні характеристики (б) системи АРНД із тиристорним приводом

Функціональна схема системи АРНД із тиристорним приводом зображена на рис. 10а. На вході операційного підсилювача DD1 порівнюються фактична u_d і задана U_z напруги дуги. Вихідний сигнал DD1 керує тиристорним приводом ТП. Якщо виконується умова $R_2 = R_3 = R$, то керуюча напруга буде

$$u_{II} = k_{yc}(u_D - U_3).$$

Де $k_{yc} = -\frac{R_4 + R_5}{R}$ — коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

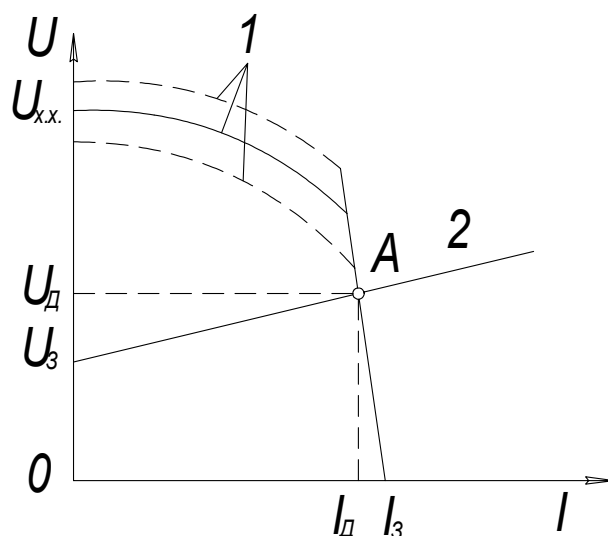


Рисунок 11 — Статичні характеристики системи з двома регуляторами: 1 — зовнішні характеристики джерела живлення при різних напругах холостого ходу (вертикальна ділянка — статична характеристика регулятора струму з впливом на опір джерела живлення); 2—статична характеристика АРНД

Зміною R_5 здійснюється настроювання необхідного значення k_{yc} , а отже, коефіцієнта підсилення регулятора.

Таким чином, кожному з граничних значень $U_{3 \max}$ і $U_{3 \min}$, установлюваних потенціометром R_1 , відповідають статичні характеристики регулятора (рис. 10, б) при $k_{рег}^{\max}$ (2 і 4) і $k_{рег}^{\min}$ (1 і 3).

Зворотний зв'язок за напругою дуги може використовуватися для впливу не тільки на швидкість подачі, але і на електрорушійну силу (е.р.с.) джерела живлення або опору зварювального ланцюга. У системі з впливом на е.р.с. сигнал неузгодженості між заданою і фактичною напругами дуги після підсилення і необхідних перетворень використовується для стабілізації напруги на дузі. Простіше всього така система регулювання реалізується за допомогою джерела постійного струму з тиристорним випрямлячем. Такі джерела живлення одержали широке поширення.

Зварювальна головка з постійною швидкістю подачі і випрямляч, що працює в режимі регулятора напруги, на відміну від розглянутих раніше систем саморегулювання дуги і АРНД, забезпечують стабільність режиму зварювання за струмом і напругою в умовах коливань напруги електромережі. Збурення за швидкістю подачі дроту, що можуть виникнути через недостатню жорсткість приводу, овальність дроту та інші

причини, викликають у розглянутій системі відповідні зміни струму. На струмі відображаються також зміни вольоту електрода.

Статичні і динамічні властивості регуляторів енергетичних параметрів дуги можна поліпшити, застосувавши системи з двома регуляторами: АРНД із впливом на швидкість подачі і регулятором струму, що впливає на джерело живлення (рис. 10). При відсутності збурювань за вильотом електрода ця система за статичними властивостями рівноцінна системі з постійною швидкістю подачі і джерелом живлення — стабілізатором напруги на дузі, однак динамічні властивості в першому випадку можуть бути вищі. Відпрацьовуються і збурювання за швидкістю подачі.

Регулятори струму (або напруги) із впливом на джерело живлення в даний час реалізуються в схемах універсальних зварювальних випрямлячів з тиристорним керуванням, наприклад, у широко розповсюдженіму зварювальному випрямлячеві ВДУ-504.

При механізованому зварюванні найбільший вплив на параметри режиму роблять коливання мережевої напруги і зміни вольоту електрода внаслідок мимовільних коливань руки зварника. У цьому випадку доцільно використовувати системи з впливом на швидкість подачі, що забезпечують оптимальне співвідношення між струмом і напругою [5]. Такий регулятор зменшує статичні помилки, підвищує стійкість горіння дуги на малих струмах і знижує розбризкування електродного металу.

4.3 Системи автоматичного регулювання довжини дуги.

Одна з відмінних рис способу зварювання неплавким електродом — відсутність самовирівнювання енергетичного стану дуги. Наслідком цього є залежність напруги і струму дуги від її довжини. При подовженні дуги її статична вольт-амперна характеристика зміщується нагору і вправо, а при скороченні вліво і вниз (рис. 12). Помилки $\Delta U_{д.с}$ та $\Delta I_{д.с}$, що виникають при зміні е.р.с. джерела живлення, можуть бути зведені до нуля при використанні джерел зі стабілізованою напругою. Усунення помилок досягається за допомогою САР довжини дуги. Основне джерело інформації про довжину дуги — її напруга. Якщо прийняти $I_d \approx 0$, що справедливо для стрімко спадних характеристик джерел живлення, використовуваних при зварюванні неплавким електродом. Використання зворотного зв'язку за напругою дуги дозволяє побудувати замкнуту САР, що називають системою АРНД з неплавким електродом.

У сучасних системах АРНД широко застосовують цифрове керування електроприводами на базі крокових електродвигунів. При цьому стабілізується не тільки напруга дуги, але і для забезпечення стаціонарності потоку захисного газу (відстань «сопло — метал») регулюється величина занурення електрода у ванну та інші технологічні

операції .

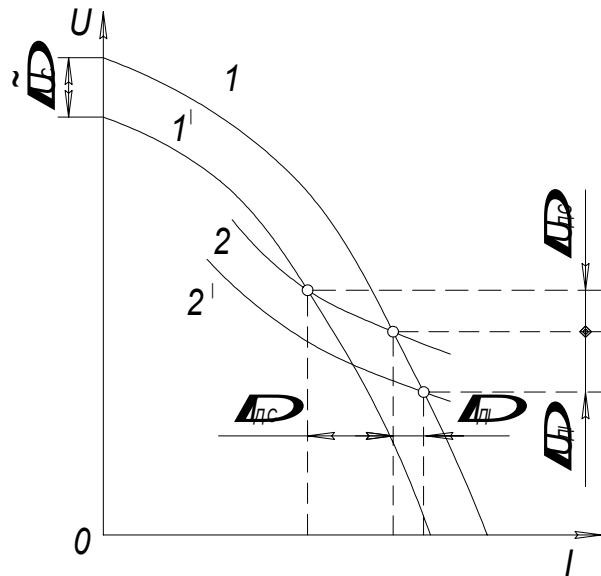


Рисунок 12 – Вплив збурювання за напругою електромережі і довжиною дуги на статичні помилки за струмом і напругою:
 1—1' — зовнішні характеристики джерела живлення при коливаннях напруги мережі.
 2—2' — статичні вольт-амперні характеристики дуги при різних довжинах дуг

У малопотужних дуг залежність між довжиною і напругою є нелінійною, тому для стабілізації довжини дуги необхідно застосовувати вимірювальні перетворювачі, такі що безпосередньо контролюють відстань між електродом і поверхнею зварювальної ванни. Найбільш зручними для цієї мети є струминні пневматичні або електропневматичні датчики, установлені на зварювальному пальнику над поверхнею виробу. При зміні відстані між поверхнею, що зварюється, і соплом датчика змінюється аеродинамічний опір зазору між датчиком і виробом. Зміна тиску, що відбувається при цьому, газу (аргону) у камері датчика перетвориться в безперервний або дискретний електричний сигнал. Для прецизійних вимірювань відстані між зварювальним пальником і виробом з точністю 10^{-1} мм застосовують фотометричні, оптичні й інші перетворювачі.

4.4 Системи автоматичного регулювання вильоту (АРВ) електрода.

При застосуванні плавкого електрода, системи з постійною швидкістю подачі так само, як і системи автоматичного регулювання напруги дуги і струму з впливом на швидкість подачі дроту або джерело живлення, не відпрацьовують збурювання за вильотом електрода. У той же

час при автоматичному зварюванні на підвищених густинах струму виліт електрода — один з найважливіших параметрів режиму, оскільки від його величини залежать: енергетичні характеристики, стабільність і характер переносу електродного металу. Найчастіше збурювання по вильоту електрода є причиною порушення встановлених параметрів режиму при неспинному багатопрохідному зварюванні, зварюванні кільцевих швів, розташованих у вертикальній площині і такі що мають радіальне биття, внаслідок неточності підготовки і складання виробів.

Основний вплив вильоту на енергетичні характеристики зварювального контуру полягає в тому, що зміни вильоту супроводжуються таким перерозподілом потужностей між анодом (при зварюванні на зворотній полярності) і вильотом, що сума їх залишається приблизно постійною.

Потужність, що є необхідною для плавлення електрода при постійній швидкості його подачі:

$$P_e = P_B + P_D = \text{const}; \quad (1)$$

$$P_B = I_D^2 R_B; \quad (2)$$

$$P_D = U_e I_D, \quad (3)$$

де R_B — опір вильоту;

$U_e = U_a + U_B$ — сума анодного падіння напруги.

Після підстановки (2), (3) у (1) одержимо:

$$I_D^2 + \frac{U_e}{R_B} I_D - \frac{P_e}{R_B} = 0. \quad (4)$$

Розв'язанням (4) є:

$$I_D = -\frac{U_e}{2R_B} + \sqrt{\frac{U_e^2}{4R_B^2} + \frac{P_e}{R_B}}. \quad (5)$$

З (1)—(2) випливає, що при нульовому вильоті ($R_B = 0$)

$$I_D^0 = \frac{P_e}{U_e}. \quad (6)$$

З (5) випливає, що зі збільшенням вильоту струм зменшується. Виходить, збурювання за вильотом будуть супроводжуватися відхиленнями глибини провару і співвідношення частинок основного й електродного металу в зварному з'єднанні. Уявлення про вплив вильоту електрода на режим зварювання можна одержати також зі спільного розгляду зовнішніх характеристик джерела живлення і кривих сталої роботи при різних значеннях вильоту (рис. 13). Зі зменшенням вильоту (при постійній швидкості подачі електрода) крива усталеної роботи зміщається в сторону великих струмів.

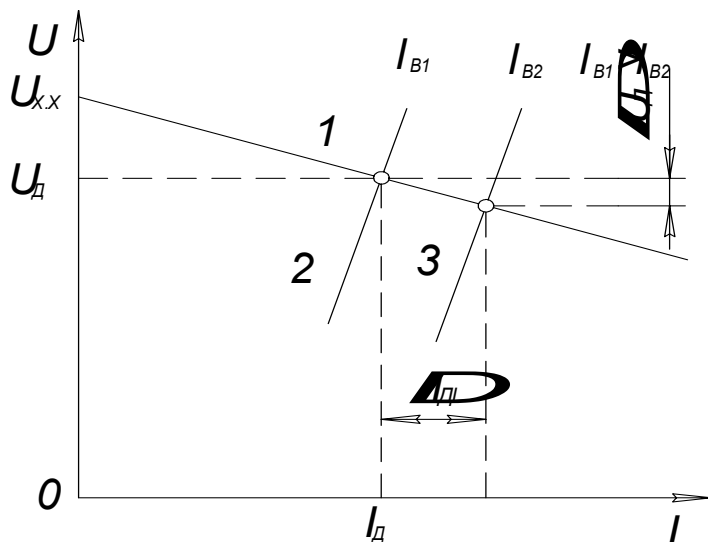


Рисунок 13 – Вплив вильоту електрода l_B на режим зварювання:
 1 — зовнішня характеристика нестабілізованого джерела живлення;
 2, 3 — криві усталеної роботи при різних вильотах електрода

При зварюванні плавким електродом, у середовищі захисних газів, коли застосовуються джерела живлення із зовнішніми характеристиками, близькими до жорстких, збурення за вильотом, у першу чергу, впливають на струм дуги (статична помилка ΔI_D). Так, у випадку жорсткої зовнішньої характеристики джерела живлення статична помилка за напругою ΔU_D дорівнює нулю. Тому при розробці систем автоматичного регулювання вильоту електрода доцільно ввести в регулятор сигнал зворотного зв'язку за струмом дуги.

Найпростішим рішенням щодо стабілізації вильоту (відстані між струмопідводом і поверхнею, що зварюється,) є механічна система із зварювальною голівкою, що спирається за допомогою копірних роликів або щупа безпосередньо на виріб, що зварюється, поблизу зони зварювання та є плаваючою [5]. У процесі руху зварювального апарата голівка, або плаваючий мундштук, копіюють вертикальні нерівності поблизу зони зварювання, забезпечуючи тим самим сталість вильоту. Іноді, щоб підвищити чутливість пристроїв копіювання, їх оснащують вимірювальними перетворювачами (наприклад, потенціометричними), які перетворюють переміщення копіювального елемента в електричний сигнал.

Основний недолік систем копіювання — неможливість сполучення зони копіювання і зони зварювання, внаслідок чого зміни вильоту в зоні зварювання і переміщення плаваючої голівки, виявляються неадекватними. Компенсація транспортного запізнювання при введенні запам'ятовувальних пристроїв значно ускладнює систему і знижує надійність її роботи [5]. Крім того, застосування пристроїв, копіювання можливе для обмеженої кількості типів виробів і видів зварних швів.

При багатопрохідному зварюванні у випадках, коли висоту кожного валика, що вкладається в оброблення, можна з певною точністю встановити заздалегідь, застосовуючи систему програмного регулювання вильоту. Вона містить електромеханічний програмний пристрій, забезпечує підйом зварювальної головки на заздалегідь установлену величину по мірі заповнення оброблення.

Загальна особливість розглянутих систем — відсутність зворотних зв'язків за фактичним значенням вильоту електрода й електричних параметрів дуги. Тому ці системи нечутливі до змін вильоту внаслідок коливань напруги дуги, швидкості плавлення електрода і т.д.

Основні труднощі при розробці замкнутих систем автоматичного регулювання вильоту електрода — одержання інформації про величину вильоту. Для цієї мети зручно застосовувати фотоелектричний датчик, у поле зору якого розташовується перехідна ділянка між кінцем плавкого електрода, і стовпом дуги (рис.14).

Світловий потік від цієї ділянки перетворюється датчиком Д в електричний сигнал U_d , що порівнюється в СК з еталонним сигналом U_0 . При зміні відстані між струмопідводом і поверхнею, що зварюється, буде змінюватися (внаслідок саморегулювання довжини дуги) довжина частини електрода, що не розплавилася, а світловий потік буде зменшуватися (при збільшенні вильоту) або зростати (при зменшенні вильоту) у порівнянні з його номінальним значенням.

Сигнал неузгодженості, виділений у СК, після підсилювача-перетворювача ПП використовується для керування двигуном М. Останній за допомогою редуктора Р здійснює підйом або опускання струмопідвідного мундштука разом із закріпленням на ньому датчиком доти, поки в полі зору датчика знову не з'явиться перехідна зона «електрод-дуга». При цьому сигнал датчика за величиною порівнюється з еталонним сигналом і система приходить у стан рівноваги. Таким чином, переміщення мундштука у вертикальній площині, копіюючи нерівності поверхні, що зварюється, забезпечують збереження сталості величини вильоту електрода. При зварюванні алюмінію електродом, що плавиться, у середовищі аргону точність стабілізації вильоту складає $\pm 0,25$ мм.

Істотний недолік розглянутої системи АРВ — конструктивна складність і неможливість використання її в тих випадках, коли вимірювання світлового потоку від торця електрода утруднено конструктивними елементами, при зварюванні у вузьке оброблення і т.п.

При зварюванні в захисних газах електродами малого діаметра виліт електрода істотно впливає на зварювальний струм. Ця залежність використана для побудови системи АРВ зі зворотним зв'язком за струмом (рис. 15) [6].

Спадання напруги на шунті $R_{ш}$, пропорційне фактичному значенню струму, після попереднього підсилення порівнюється з напругою U_{io} , що

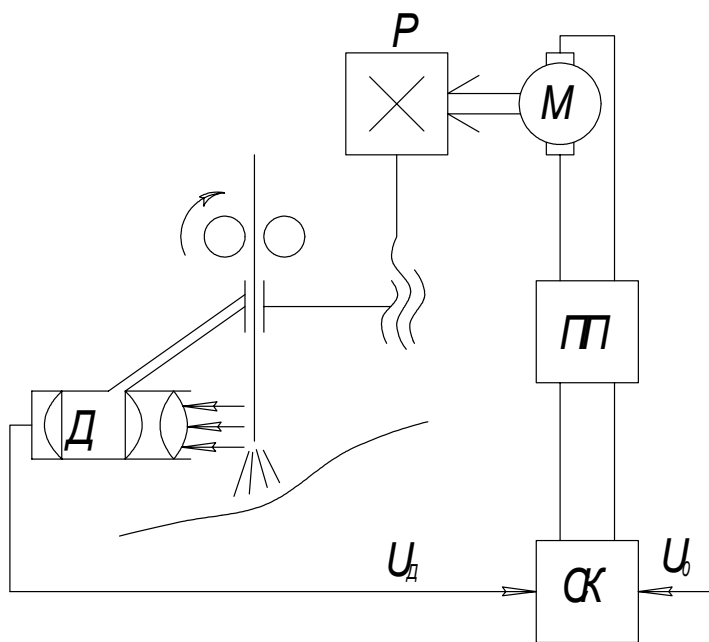


Рисунок 14 – Система АРВ електрода з фотоелектричним датчиком
Д – фотоелектричний датчик; Р – редуктор; М – електромотор;
ПП – підсилювач перетворюювач; СК – система керування

відповідає заданому значенню струму. Розносний сигнал після підсилення за потужністю використовується для керування сигналізатором граничних значень вильоту і виконавчим двигуном. Останній через редуктор переміщує струмопровідний мундштук вгору або вниз доти, поки

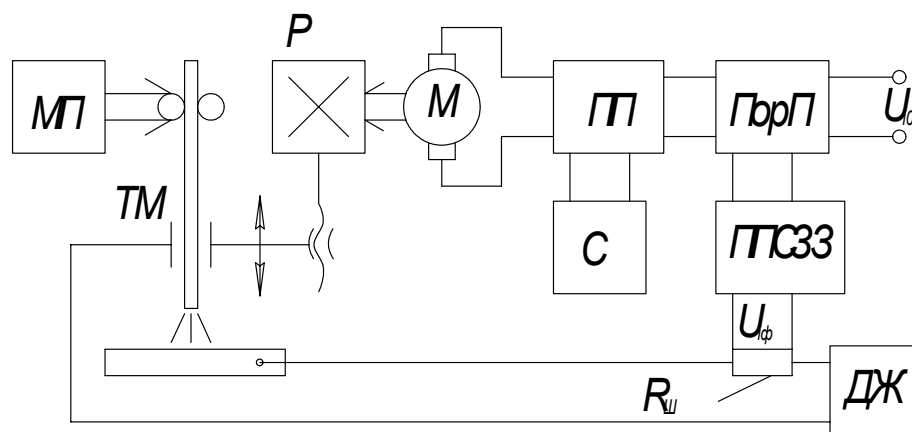


Рисунок 15 – Функціональна схема системи АРВ зі зворотним зв'язком за струмом:

МП — механізм подачі; Р — редуктор; М — виконавчий двигун; ТМ — пальник; ПП — підсилювач потужності; С — сигналізатор; ПорП — пристрій порівняння; ППСЗЗ — попередній підсилювач сигналу зворотного зв'язку; ДЖ — джерело живлення.

зварювальний струм не стане рівним установленому. При цьому сигнал на вході підсилювача потужності стане рівним нулю і система прийде в стан рівноваги. Використання зворотного зв'язку за струмом дозволяє забезпечити його стабілізацію, незалежно від виду збудження, що порушують установлений режим зварювання. Однак стабілізація вильоту електрода в даному випадку забезпечується тільки за умови строгої сталості швидкості подачі, поперечного перерізу електродного дроту і застосування стабілізованого джерела живлення.

5 Системи керування формуванням і геометричними розмірами швів

Стабілізація енергетичних параметрів дуги багато в чому визначає умови забезпечення заданої якості зварного з'єднання, однак весь комплекс збурювань, що діють безпосередньо на виріб, що зварюється, залишається поза контуром керування і не впливає на створення регулюючого впливу. У зв'язку з цим для нормального формування зварного шва і забезпечення заданих параметрів його поперечного перерізу при використанні автоматів для дугового зварювання необхідно висувати набагато більш жорсткі вимоги до точності підготовки і складання виробів, ніж при ручному або напівавтоматичному зварюваннях. Стабілізація основних параметрів режиму дозволяє забезпечити досить малі відхилення величини погонної енергії дуги від розрахункової. При зміні ширини зазору кута оброблення кромки, притуплення, температури попереднього підігріву й інших технологічних збурювань можна вирішити якісно більш складну задачу — керувати параметрами режиму дугового зварювання, щоб одержувати задану геометрію зварного шва. При цьому необхідно враховувати, що зміна погонної енергії, достатня для керування термічними циклами при дуговому зварюванні, недостатня для керування формою шва, тому що струм, швидкість переміщення і напруга дуги по-різному впливають на форму шва при незмінній погонній енергії.

Фактори, що впливають на форму і розміри зварного шва, можна розділити на дві групи:

1. Вихідні технологічні умови — товщина S металу або катет кутового шва, зазор b між деталями, що зварюються, діаметр електродного дроту d_e .
2. Керовані параметри режиму зварювання — напруга дуги U_d , швидкість зварювання $V_{св}$, швидкість подачі дроту V_n , зварювальний струм $I_{св}$.

Припустимий діапазон зміни геометричних розмірів шва в залежності від типу з'єднання і товщини металу, що зварюється, задається відповідними стандартами (наприклад, для зварювання в захисних газах —

ГОСТ 14771—76). Керування процесом зварювання може бути зведене до визначення за вихідними технологічними умовами (група факторів «а») таких параметрів режиму (група факторів «б»), що забезпечують одержання шва заданих розмірів і форми при максимальній продуктивності процесу і мінімальних витрат зварювальних матеріалів.

Розв'язання цієї задачі можливе на основі застосування в системах керування математичних моделей, наприклад, M1, M2 і M3 (рис. 16), що встановлюють залежність керованих показників процесу зварювання від таких вхідних параметрів: вихідних технологічних умов і параметрів режиму зварювання (для M1), параметрів дуги (для M2) і розмірів шва або зварювальної ванни (для M3), відповідно [41]. Система керування з цими моделями містить геометричний канал, що визначає переміщення дуги як джерела нагрівання щодо лінії зварного з'єднання, і технологічний канал, призначений для підтримки оптимального взаємозв'язку між керованими параметрами при наявності збурювань. Зв'язок між каналами здійснюється через швидкість зварювання $V_{св}$. Моделі типу M1, що встановлюють кореляційну залежність геометричних розмірів зварювальної ванни від технологічних умов і параметрів зварювального режиму, одержують методами, основаними на теорії прийняття рішень. Ці моделі, наприклад (для зварювання низько вуглецевих сталей у середовищі вуглекислого газу, зображаються рівняннями регресії вигляду

$$Y = \theta_0 + \theta_1 U_{д} + \theta_2 V_{зв} + \theta_4 d_{з} + \theta_5 V_{п} U_{д} + \theta_6 V_{п} V_{зв} + \theta_7 U_{д} V_{зв} + \\ + \theta_8 V_{п} d_{з} + \theta_9 U_{д} d_{з} + \theta_{10} V_{зв} d_{з} + \theta_{11} V_{п}^2 + \theta_{13} U_{д}^2 + \theta_{13} V_{зв}^2 + \theta_{14} d_{з}^2,$$

де Y — один з характерних розмірів поперечного перерізу шва;

θ_0 — θ_{14} — коефіцієнти, отримані для кожного з параметрів Y за результатами обробки експериментальних даних методами багатовимірного аналізу.

На основі рівнянь регресії розраховують оптимальні режими зварювання, що забезпечують необхідні геометричні розміри і форми швів. Задача розв'язується чисельними методами з використанням вагових і штрафних функцій окремо для кожного сполучення товщини пластин (або катета для кутових швів), діаметра електродного дроту і величини зазору. В результаті одержують інтерполяційні моделі вигляду [8]

$$Z = \theta_0 + \theta_1 S + \theta_2 b + \theta_3 d_e + \theta_4 S b + \theta_5 S d_e + \\ + \theta_6 b d_e + \theta_7 S^2 + \theta_8 b^2 + \theta_9 d_e^2,$$

де Z — один з регульованих параметрів $I_{зв}$, $V_{п}$, $U_{д}$ або $V_{зв}$, відповідно;

θ_0 - θ_9 — коефіцієнти, що мають самостійні значення для кожного з регульованих параметрів Z .

Ці рівняння дозволяють визначати оптимальний зварювальний режим за вихідними технологічними параметрами за допомогою номограм, таблиць або спеціальних лічильних лінійок.

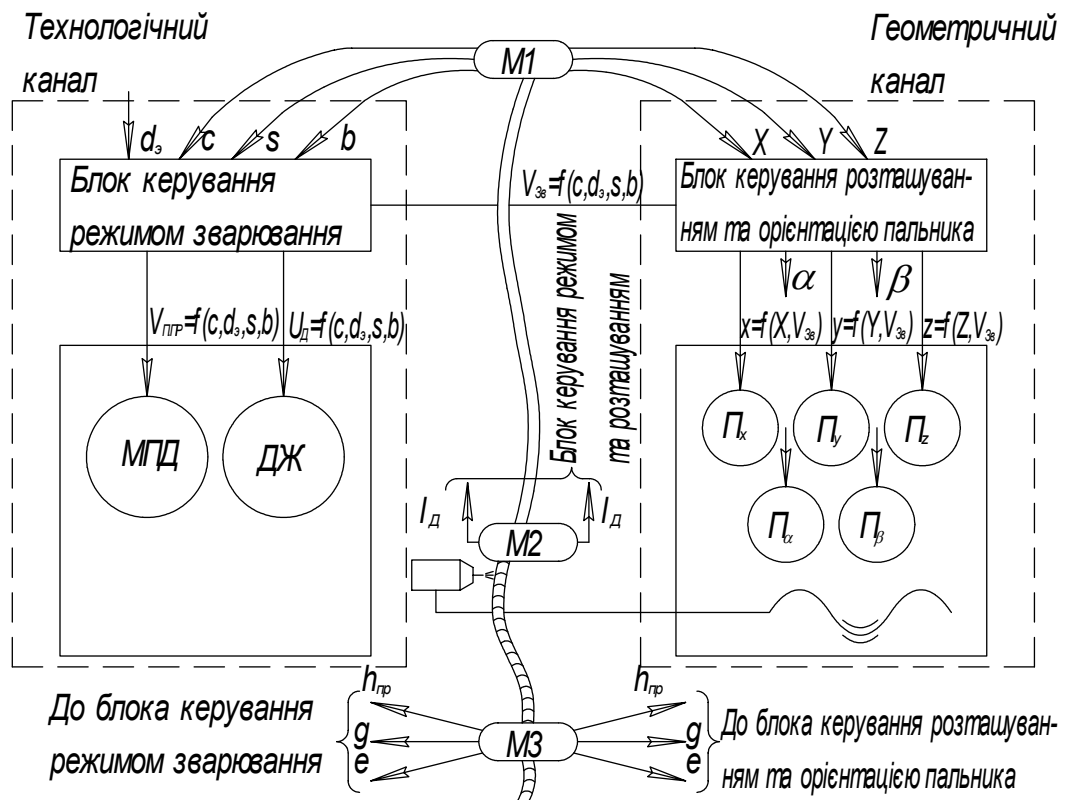


Рисунок 16 — Функціональна схема керування формуванням шва:

X, Y, Z — координати положення лінії зварного з'єднання; x, y, α, β — сигнали керування приводами $\Pi_x, \Pi_y, \Pi_z, \Pi_\alpha, \Pi_\beta$ положення та орієнтації зварювального органа; I_d — довжина дуги; c — вид з'єднання; МПД — механізм подачі дроту; ДЖ — джерело живлення.

Застосування в системах керування обчислювальних пристроїв для розрахунку на основі моделей типу M1 значень параметрів зварювального режиму (за даними поточного контролю відповідними датчиками вихідних технологічних параметрів) дозволить створити замкнуті САР, що забезпечать стабілізацію форми і геометричних параметрів поперечного переріза шва при зварюванні з'єднань із змінним зазором і товщиною деталей, яка змінюється.

Створення моделей типу M3 дозволить коректувати параметри зварювального процесу для стабілізації ширини шва або глибини проплавлення.

Спільне використання в САК моделей типів M1, M2 і M3 для корекції роботи виконавчих пристроїв геометричного і технологічного каналів системи (див. Рис. 16) на підставі вихідної і поточної інформації про параметри, яка визначає умови зварювання, найбільш повно відповідає вимогам її повної автоматизації.

Часткове рішення загальної задачі керування розмірами зварних швів — автоматичне регулювання глибини проплавлення тонкого металу, наприклад при плазмовому зварюванні [4]. Проплавлення контролюють

або за допомогою фотодатчика ФЭ (рис. 17,а), що реєструє інтенсивність потоку іонізованих газів зі зворотної сторони шва, або використанням

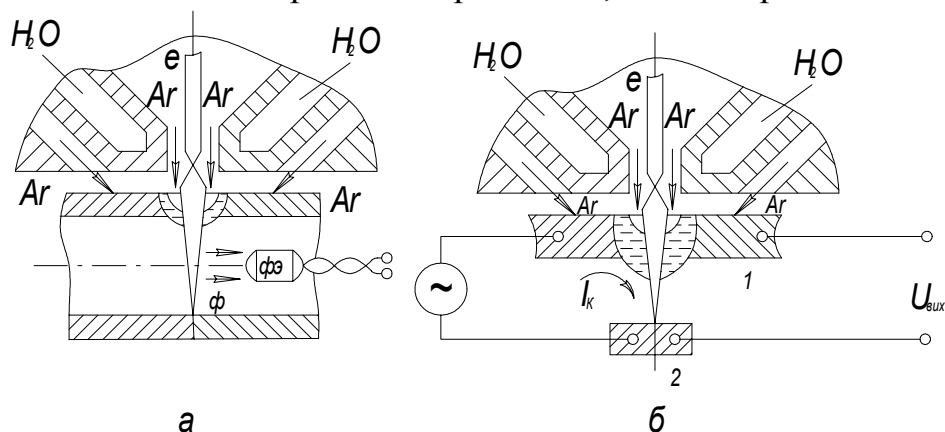


Рисунок 17 — Способи контролю проплавлення при плазмовому зварюванні

спеціальної підкладки 2 (рис. 17, б), що вводиться під виріб 1 і, служить для замикання потоком іонізованих газів електричного ланцюга. Сигнали датчиків використовують для стабілізації проплавлення, змінюючи зварювальний струм, амплітуду поперечних коливань електрода, швидкість зварювання і т.д.

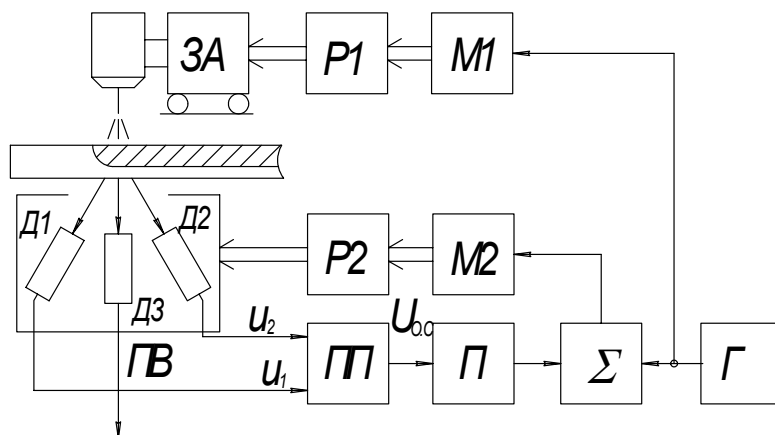


Рисунок 18 – Система пошуку точки візування

Методи контролю глибини проплавлення найчастіше основані на вимірюванні температури в максимально нагрітій точці зі зворотної сторони виробу, що зварюється. Для цього застосовуються спеціальні системи керування положенням датчика температури з метою пошуку точки візування. Приклад такої системи показаний на рис. 18. Пристрій візування ПВ складається з трьох безконтактних датчиків температури Д1—Д3. Точки візування датчиків Д1 і Д2 розташовані на однаковій відстані від точки візування датчика Д3. Сигнали з Д1 і Д2 надходять на

пристрій порівняння ПП; різниця між ними підсилюється підсилювачем П. Отримана напруга підсумовується з напругою генератора Г, що живить двигун М1 механізму переміщення зварювального апарата ЗА і двигун М2 корекції пристрою візування. Різниця у швидкості переміщення ПВ і зварювальної дуги перетворюється в напругу зворотного зв'язку u_{oc} . Система пошуку працює таким чином, що, якщо сигнал датчика Д1 більший сигналу датчика Д2, двигун М2 через редуктор Р2 переміщає ПВ вліво щодо дуги і, навпаки, якщо сигнал Д2 більший сигналу Д1, то ПВ зміщується вправо щодо дуги. Передбачається, що найбільш нагріта точка знаходиться між точками візування Д1 і Д2; її температура вимірюється датчиком ДЗ.

Розглянута система є системою однокоординатного пошуку, тобто передбачається, що найбільш нагріта точка знаходиться в площині стику. Там, де апіорно це припустити не можна, застосовують двокоординатну систему, що здійснює пошук також і в площині, перпендикулярній до площини стику. Помилка цієї системи пропорційна відстані між точками візування датчиків Д1 і Д2, тому що максимум температур може бути зміщений убік від середини.

Щоб виміряти температуру нагрівання заготовок, що зварюються, або теплове випромінювання з їхньої поверхні, можна використовувати безконтактні датчики температури (теплого випромінювання), наприклад тепловізори.

6 Автоматизація керування положенням зварювального пальника при зварюванні і наплавленні

Для автоматичного керування положенням зварювального пальника (електрода) щодо виробу, що зварюється, або наплавленої поверхні запропонована велика кількість різноманітних систем, що стежать, однак у промисловості вони застосовуються недостатньо широко. Це пояснюється головним чином відсутністю або малою надійністю датчиків, придатних для умов зварювального виробництва. Можна вважати, що автоматизація зварювальних операцій за допомогою слідкуючих систем — це проблема способів і засобів вимірювання фактичного положення стику або наплавленої поверхні для кожного екземпляра виробу.

За способом перетворення інформації у сигнал, що використовується для керування, слідкуючі системи можна класифікувати за типами датчиків що застосовуються у них. Розрізняють слідкуючі системи з датчиками: електромеханічними, фотоелектричними, телевізійними, електророзрядними, електромагнітними, фотопірометричним, ультразвуковими, пневматичними, радіаційними й ін.

За способом одержання інформації про положення контрольованого об'єкта розрізняють дві групи датчиків:

а) датчики, у яких інформація утворюється в результаті зсуву контрольованого об'єкта щодо чутливого елемента датчика зі швидкістю, яка реально спостерігається;

б) датчики, у яких інформація утворюється при швидкому перегляді (скануванні) зони контрольованого об'єкта чутливим елементом датчика зі швидкістю, яка перевищує не менше ніж на порядок, швидкість реального зсуву об'єкта.

Датчики зі скануванням конструктивно складніші датчиків першої групи, однак вони можуть бути виготовлені більш перешкодозахищеними і дозволяють одержувати великий обсяг інформації про об'єкт вимірювання.

У залежності від місця точки вимірювання положення лінії з'єднання елементів, що зварюються, розрізняють датчики і системи з вимірюванням перед точкою зварювання (рис. 19, а, в, г), збоку від точки зварювання (рис. 19, б) і в точці зварювання. У залежності від наявності запам'ятовувальних пристроїв у слідкуючій системі, розрізняють системи без врахування транспортного запізнювання точки зварювання щодо точки вимірювання (рис. 19, а) і системи з урахуванням зазначеного транспортного запізнювання (рис. 19, в, г).

У системі, виконаній за схемою зображень на рис. 19, а, виникає похибка наведення пальника на лінію сполучення елементів, що зварюються. Ця похибка відсутня в системах з вимірюванням збоку від

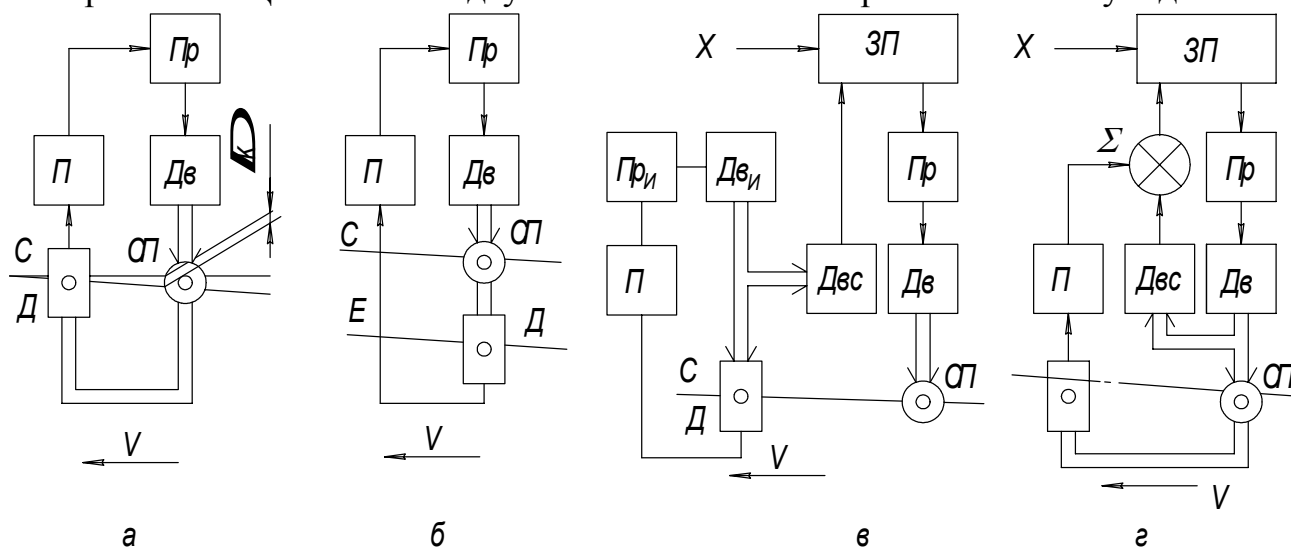


Рисунок 19. Схеми слідкуючих систем для керування положенням зварювального пальника:

а—з датчиком перед точкою зварювання; б—з датчиком збоку від точки зварювання; в—з датчиком перед точкою зварювання, запам'ятовувальним пристроєм і незалежною вимірювальною слідкуючою системою; г— те ж із залежною (закріпленою нерухомо щодо зварювального пальника) вимірювальною системою; СП - зварювальний пальник; Д - датчик положення лінії з'єднання (С) або лінії (поверхні), еквідистантної лінії з'єднання (Е); П - перетворювач датчика; Пр — привод переміщення

зварювального пальника; Дв — виконувальний двигун приводу зварювального пальника; При - привод вимірювальної слідкуючої системи; Дв_и - виконавчий двигун приводу вимірювальної слідкуючої системи; Дв_с - датчик положення допоміжний; ЗП - запам'ятовувальний пристрій; Σ - підсумовувальний пристрій; V - напрямок переміщення зварювального пальника

точки зварювання (рис. 19, б), у точці зварювання, а також у системах з урахуванням транспортного запізнювання (рис. 19, в, г). Останні бувають двох видів: з абсолютним визначенням положення лінії сполучення в точці вимірювання (рис. 19, в) і з відносним визначенням положення лінії сполучення в точці вимірювання (щодо точки зварювання). У першому випадку абсолютне положення датчика лінії сполучення вимірюється допоміжним датчиком — перетворювачем ДВс і надходить у запам'ятовувальний пристрій.

В другому випадку визначається відхилення лінії з'єднання в точці вимірювання щодо точки зварювання і це відхилення додається до поточного положенням зварювального пальника. Отримана алгебраїчна сума, що визначає абсолютне положення точки вимірювання, надходить у запам'ятовувальний пристрій. В обох видах систем інформація про положення точки вимірювання використовується для керування положенням зварювального пальника із затримкою за часом, обумовленою часом переміщення на швидкості V у напрямку X на відстань між точкою зварювання і точкою вимірювання. Швидкість V налаштовується відповідно до вимоги технології, а інформація про переміщення по координаті X надходить у вузол керування запам'ятовувального пристрою для керування темпом видачі інформації на привід зварювального пальника.

Стосовно до задачі автоматичного керування положенням зварювального пальника (електрода) щодо лінії з'єднання, яка зварюється, для відліку її положення на виробі можна використовувати стик кромки, що зварюються, кромки (поверхні) виробу або спеціальну копірну лінію.

Визначивши, який елемент стику буде використовуватися для відліку його положення на виробі, необхідно знайти характеристики вхідного впливу: найбільше значення неузгодженості між розрахунковим і фактичним положенням лінії з'єднання або поверхонь виробу; найбільшу швидкість зміни цієї неузгодженості. Ці дані дозволять визначити необхідне значення і найбільшу швидкість переміщення датчика і зварювального інструмента уздовж відповідних координат.

Для реальних умов зварювання значення цих величин визначаються дією випадкових факторів: похибками виготовлення елементів виробу, що зварюються, похибками їх складання під зварювання, похибками установки складеного виробу в положенні зварювання, тепловими і зварювальними деформаціями виробу в процесі зварювання.

При зварюванні швів, що не мають різких вигинів і зламів, слідкуючі системи крім їхньої працездатності і стійкості, повинні мати певні динамічні властивості, що оцінюються за допомогою показників якості регулювання: часу регулювання t_p і кількості коливань μ , що здійснює система за час перехідного процесу. Практика показує, що для більшості випадків зварювання досить того, щоб слідкуюча система, мала такі показники якості: $t_p = 0,2 — 0,6$ с і $\mu = 0 — 2$.

За кількістю слідкуючих рухів системи можна розділити на однокоординатні і багатокоординатні. Кількість координат, що відслідковуються, визначаються характером ліній, утворених на площині або в просторі з'єднаними кромками майбутнього шва і його орієнтацією щодо координатних осей: пряма лінія; пряма, розташована під невеликим кутом до лінії руху зварювального апарата; кругова; спіральна і т.п. Двокоординатні слідкуючі системи — це сполучення двох незалежних однокоординатних систем із загальним двокоординатним або двома однокоординатними датчиками. При зварюванні швів складної форми застосовуються також дво- і трикоординатні слідкуючі системи із взаємозалежними слідкуючими рухами.

За типом регулятора, застосованого в системі слідкуючої автоматики, системи розділяються на дві групи: системи з регуляторами прямої дії і системи з регуляторами непрямої дії.

6.1 Слідкуючі системи (пристрої) з регуляторами прямої дії

Вони найбільш прості, вимірювання невіддільне від керування. Зварювальна головка або пальник має одну або декілька вільних ступенів свободи і зв'язані безпосередньо з щупом, виконаним у вигляді ролика або нерухомого копінного пальця. Щуп постійно притиснутий до поверхонь оброблення кромки стику або інших поверхонь елементів, що зварюються, під дією пружин або сил ваги. При одному щупі-ролику (рис. 20,а) можливе направлення пальника по обробленню стику без прихватки.

Якщо зварювальний пальник і щуп мають тільки одну ступінь свободи (рис. 20,а), то виникає складова похибки накладення шва Δk (рис. 20,г). При копіюванні в двох (і більше) точках і додаткових ступенях свободи щупа щодо пальника (рис. 20,б) або щупа з пальником щодо виробу (рис. 20,в) можна істотно зменшити величину похибки Δk , а при строго прямолінійних стиках, випадковим образом повернених на невеликий кут,— повністю виключити цю похибку (рис. 20,д). Для того щоб при цих додаткових ступенях свободи можна було копіювати стики, зібрані за допомогою прихваток, необхідно не менше трьох щупів-роликів з незалежним притисненням до виробу (рис. 20,в).

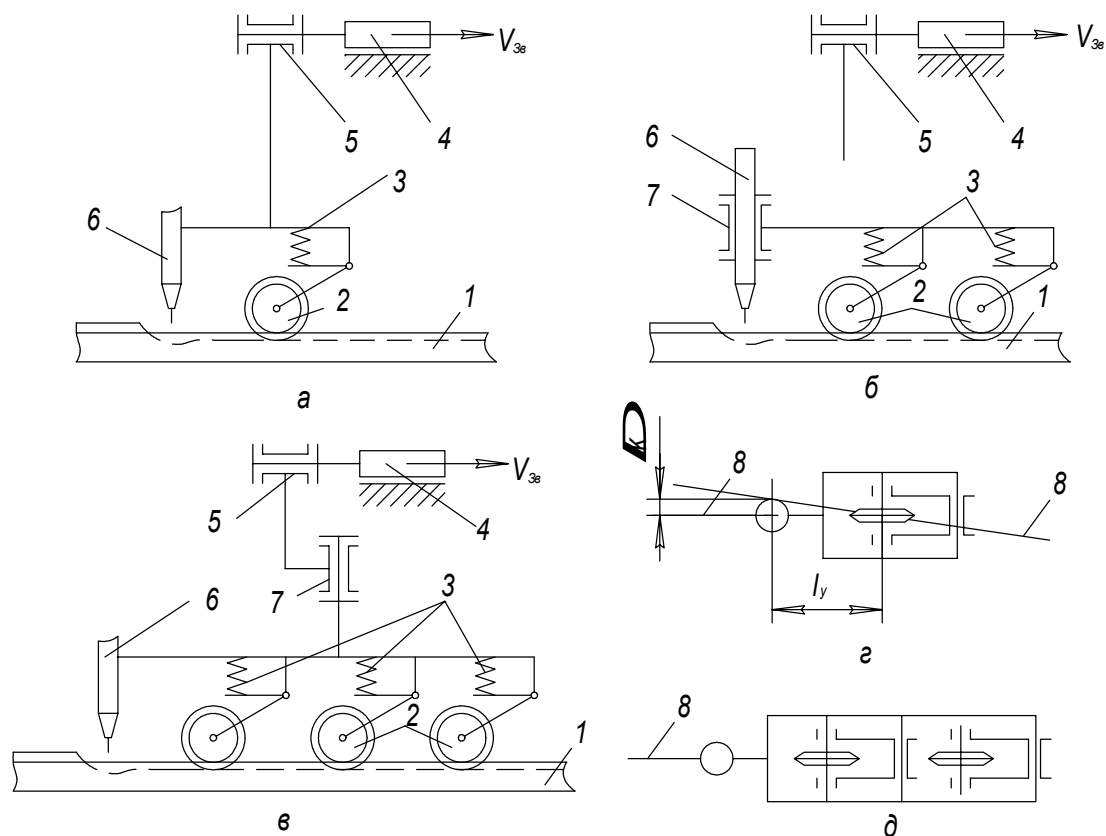


Рисунок 20 – Схеми пристроїв прямої дії для направлення зварювального інструмента по лінії з'єднання:

1 — виріб, що зварюється; 2 - копірний ролик; 3 - пружина; 4 - ланка, що переміщається уздовж лінії з'єднання; 5 - шарнір, що забезпечує коректувальне переміщення; 6 - зварювальний пальник; 7 - додаткова рухливість; 8 - лінія з'єднання

Пристрої, схеми яких приведені на рис. 20, застосовуються при зварюванні переважно стикових з'єднань з обробленням або гарантованим зазором, складених без прихваток або на прихватках. При виконанні кутових швів ці пристрої застосовуються при зварюванні в положенні «у човник». При цьому потрібно також копіювання по другій координаті, що здійснюється за допомогою додаткової системи з регулятором непрямої дії. При зварюванні «у кут» коригувальні переміщення можуть бути спрямовані поперек і уздовж осі електрода, або бути перпендикулярними до полиць з'єднання, що зварюється, (рис. 21). Пряме копіювання по вертикалі і під великими кутами до горизонталі застосовують при невеликій або частково урівноваженій масі переміщуваних частин (рис. 21,а).

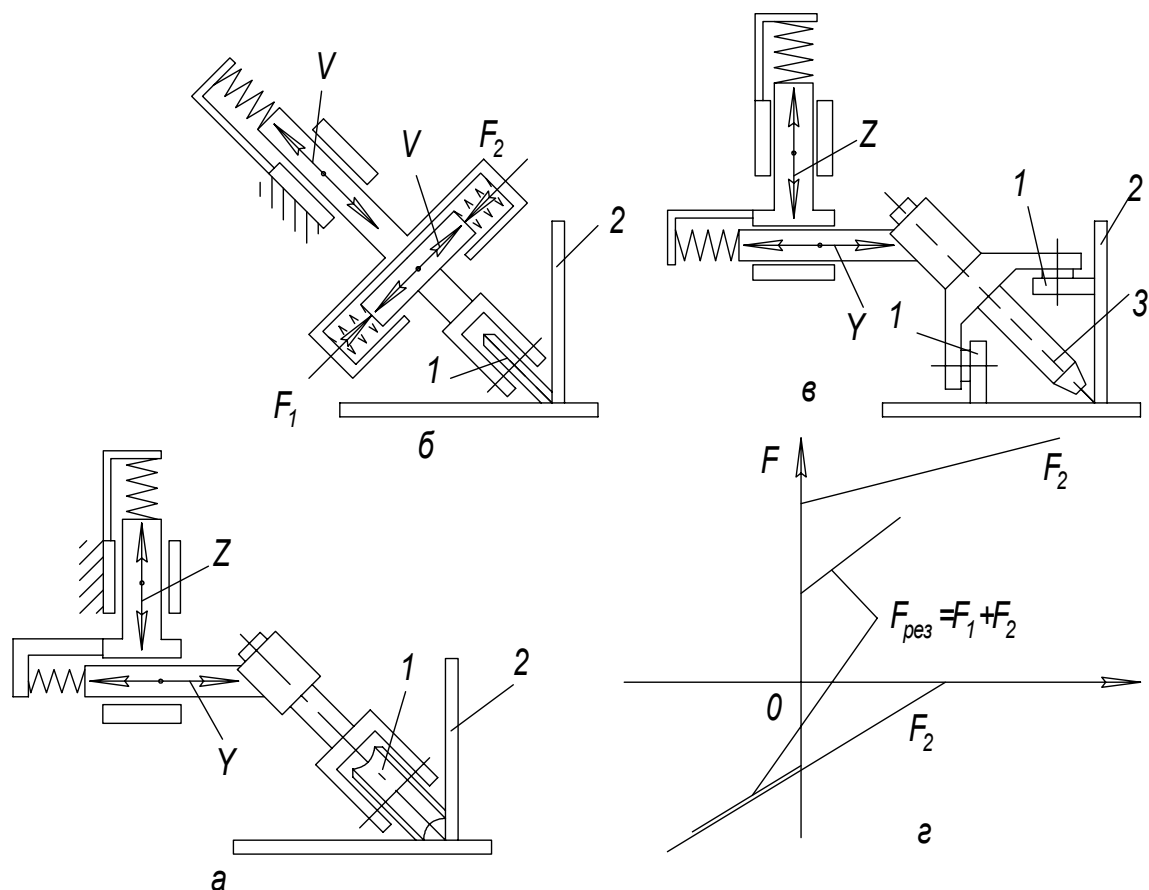


Рисунок 21 – Схеми двокоординатних пристроїв прямої дії для зварювання кутових швів:

1 — копірний ролик; 2 — виріб, що зварюється; 3 — зварювальний пальник

У схемі на рис. 21, б копіювальний ролик 1 під дією пружин, що створюють сили F_1 і F_2 , займає строго нейтральне положення (до дотику із виробом). Це досягається завдяки тому, що сила F_2 притискає до уступу корпусу упорну шайбу, а сила F_1 менша, ніж сила F_2 , притискає до цієї ж шайби рухливий елемент, жорстко зв'язаний з копіювальним роликом. Щоб зусилля, необхідні для зсуву ролика з нейтрального положення в обидва боки, були рівні, необхідно забезпечити в нейтральному положенні виконання умови $F_2 = 2 F_1$ (без врахування сили ваги рухомих частин) — рис. 21, г.

Схема на рис. 21, в, в дозволяє реалізувати пряме копіювання поверхонь виробу в точках, розташованих збоку (на траверсі) точки зварювання, що простіше здійснити при виконанні кутових швів з досить великими полицями.

В останні роки почали застосовувати одно- і двокоординатні копіювальні пристрої прямої дії з періодичним копіюванням. Точка копіювання пристрою (рис. 22) розташована на відстані 8—10 мм від точки

зварювання. Як щуп використовується клиноподібний палець. Цикл коректування положення зварювального інструмента складається зі звільнення фіксатора пальника за двома ступенями рухомості: один — уздовж осі електрода; другий — поперек осі електрода і лінії з'єднання;

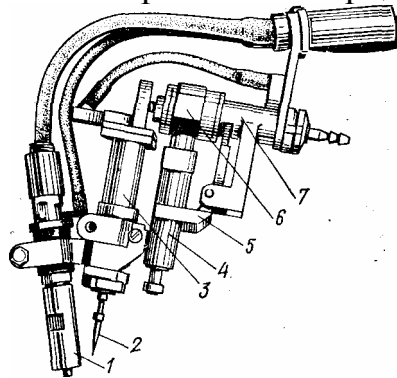


Рисунок 22. Пристрій періодичного прямого копіювання для поточної адаптації:

1 — пальник; 2 — щуп; 3 — пневмоциліндр висування щупа; 4 — повзун переміщення пальника вздовж електрода; 5 — фіксатор пальника; 6 — втулка, що забезпечує хитання пальника поперек осі електрода; 7 — пневмоциліндр приводу фіксатора

руху щупа до упору до поверхні елементів, що зварюються; наступної фіксації інструмента та відведення щупа від виробу на відстань 20 мм. Приводи механізмів переміщення щупа і фіксації інструмента — пневматичні. Перший цикл коректування виконується до початку зварювання. Частота проходження циклів коректування і положення точок копіювання на лінії з'єднання встановлюються в залежності від очікуваної швидкості зміни неузгодженості між розрахунковим і фактичним положеннями лінії з'єднання, кривизни останньої, що допускає відхилення зварювального інструмента від лінії з'єднання, а також від розташування прихватки. Оскільки щуп у кожному циклі коректування знаходиться поблизу зони зварювання протягом однієї секунди, то він практично не забризкується і не нагрівається. Ще більш сприятливі умови застосування такого пристрою забезпечуються при зварюванні пульсуючою дугою, коли коректування може здійснюватися під час переривання дуги. Найзручніше застосовувати такі пристрої при зварюванні кутових швів невеликої кривизни без прихваток або з прихватками, розташованими в точно визначених місцях (між точками спрацьовування пристрою).

Недоліки регуляторів прямої дії: 1) неможливість їх застосування при зварюванні стикових з'єднань без обробки і гарантованого зазору в стику, а також з'єднань з товщиною верхнього листа менше 3 мм; 2) необхідність спеціальної конструкції зварювального апарата «з плаваючою частиною» у напрямку спостереження, що несе зварювальний пальник; 3) при неможливості копіювання збоку точки зварювання і недоцільності

застосування планок для виводу щупа необхідно передбачати фіксацію частини плаваючого апарата перед виходом щупа з контакту з виробом при накладенні кінцевої ділянки шва, а також забезпечувати досить високу жорсткість конструкції всієї маніпуляційної системи, щоб зняття зусилля копіювання після виходу щупа з контакту з виробом, щоб це не викликало надмірного додаткового зсуву зварювального пальника з зафіксованого перед цим положення.

Зазначені недоліки усунуті у слідкуючих системах з регуляторами непрямої дії.

6.2 Слідкуючі системи з регуляторами непрямої дії

Цим системам властива різноманітність способів перетворення інформації, отриманої від датчика, у сигнал, що використовується для керування положенням зварювального пальника. Серед таких систем велику групу утворюють слідкуючі системи з електромеханічними датчиками. Основна особливість електромеханічних датчиків - наявність у них копіювального елемента — щупа, що під дією пружин або сил ваги знаходиться в контакті з копіювальними поверхнями або кромками виробу. Точка копіювання може знаходитися перед точкою зварювання або збоку від неї.

Перевага електромеханічних датчиків -- досить висока точність вимірювання, наочність контролю за правильністю функціонування датчика і висока надійність. Однак при кінематичних зв'язках виробів з перетворювачами практично неможливо використовувати датчики цих типів на з'єднаннях, підготовлених під зварювання з прихватками, значно ускладнюються конструкції датчиків. Зокрема доводиться вживати заходів для захисту їх від поломок при порушенні вимог до поверхонь виробів у зоні спостереження, помилкових діях оператора або збоях у роботі системи керування зварювальним устаткуванням. Крім того, попадання під щуп частинок флюсу, шлаку і бризків металу, а також випадкові відхилення геометричних параметрів з'єднання, підготовленого під зварювання, — це джерела додаткових похибок такої слідкуючої системи. Необхідно також забезпечувати захист щупа від налипання бризків розплавленого металу при зварюванні. Слідуючі системи з електромеханічними датчиками доцільно застосовувати в таких областях: зварювання стикових з'єднань (тільки з обробленням), кутових з'єднань (із зовнішньої сторони кута); зварювання таврових з'єднань незалежно від наявності прихваток. В усіх випадках глибина оброблення або висота копіювального уступу повинна бути не менша 3 мм.

Недоліки, властиві системам з кінематичним зв'язком (через щуп, ролик і т.д.) між виробом і зварювальною головкою, усунуті у слідкуючих системах з фотоелектричними, телевізійними, електромагнітними й

іншими вимірювальними перетворювачами.

6.3 Слідкуючі системи з фотоелектричними датчиками

Датчики цих систем можна віднести до групи так званих відеосенсорів. Сигнал керування виникає при зсуві датчика щодо контрастної лінії, відбиваючих або випромінювальних границь поверхонь і екранувальних елементів.

Так, відомі системи, де для відліку при вимірюванні положення стику використовується: лінія цього стику, контрастна щодо поверхні металу, що зварюється; спеціальна контрастна копіювальна лінія (смуга), нанесена на поверхні виробу на постійній відстані від лінії стику; границя «чорне-біле» на копіювальній стрічці, що наклеюється на виріб; лінія, що розділяє поверхні виробу з різною відбивною здатністю, наприклад, при зварюванні в стик двох листів, поверхня одного з яких або зачищена до металевого блиску, або пофарбована. Останнім часом розробляються слідкуючі системи у яких вимірюється положення розігрітих кромek або зони прогріву зі зворотної сторони з'єднання, що випромінюють потік у світловому діапазоні. Розробляються фотоелектричні системи, що вимірюють фактичне положення електрода, контрастного щодо навколишнього тіла.

Застосування фотоелектричних датчиків може бути основане на використанні відбитого світла випромінювання дуги, наприклад, при зварюванні в захисних газах кутових швів. При напрямку дуги строго по бісектрисі кута (рис. 23) середньостатистична освітленість у точках 1 і 2, обраних на певному однаковому віддаленні від кута, однакова. При зсуві дуги на один з елементів, що зварюються, точки 1 і 2 освітлюються нерівномірно. Величина освітленості сприймається двома фоторезисторами, розміщеними в корпусі датчика 6. Недолік системи — неможливість автоматизації процесу виходу на шов до початку зварювання. Крім того, недолік цієї й іншої систем, що вимірюють освітленість поверхонь виробу,—залежність вихідного сигналу від стану поверхонь елементів, що зварюються, а, отже, коефіцієнта відбиття, що може істотно змінюватися від виробу до виробу й у межах одного виробу.

Перспективним є застосування відеосенсорів, у яких у якості освітлювачів використовують лазери, а як чутливі елементи — перетворювачі типу матриць і лінійок фотоприймачів, що дозволяють у поєднанні з триангуляційним способом вимірювання одержати за допомогою засобів обчислювальної техніки інформацію не тільки про положення, але і про геометричні параметри з'єднання: перевищення кромek, перерізу оброблення і т.д.

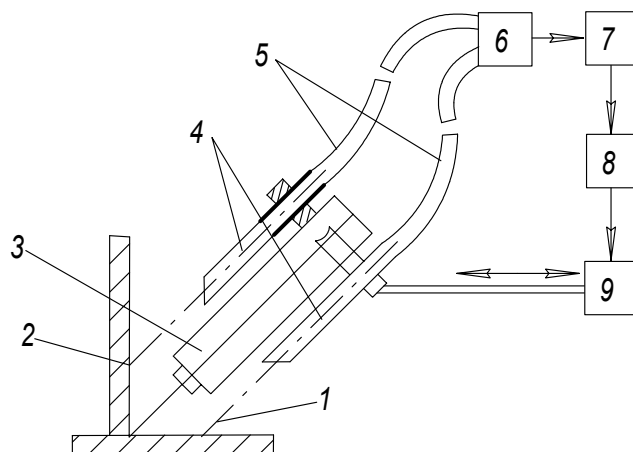


Рисунок 23. Схема сенсорної підсистеми, що використовує відбите світлове випромінювання зварювальної дуги (підсистема зображена в складі однокоординатної коригувальної системи):

1,2 — точки візування на горизонтальних і вертикальному елементах, що зварюються; 3 - зварювальний пальник; 4 - трубчасті бленди; 5 - кабельні світловоди; 6-датчик з двома фоторезисторами; 7 — підсилювач-формувавч; 8 - перетворювач приводу; 9 - двигун і привідний механізм

6.4 Слідкуючі системи з телевізійними датчиками

Вони відносяться до найбільш сучасних і перспективних, створюються на базі прикладних (промислових) телевізійних установок (ПТУ) замкнутого типу. Так, у трубозварювальному виробництві вперше широко застосували серійні ПТУ при зварюванні внутрішніх швів прямошовних труб діаметром 1220—1620 мм [10]. Упровадження ПТУ на апаратах для тридугового зварювання під флюсом труб на струмах до 1000А в кожній дузі виявилось можливим, тому що ретельно були виконані вимоги до захисту апаратури і ліній зв'язку ПТУ від електромагнітних перешкод [11]; захисту передавальної камери від нагрівання теплом зварювальної дуги і виробу, що зварюється, захисту оптики передавальної камери від газів, які виділяються при зварюванні, і від пилу.

Для реалізації телевізійного спостереження, так само як і дистанційного спостереження, необхідно, щоб частина об'єкта, яка спостерігається, містила світлоконтрастні елементи, подібні тим, що застосовуються для фотоелектричних систем. При використанні телевізійного спостереження значні труднощі створюються світловими перешкодами, зокрема, у вигляді світлоконтрастних подряпин, рисок, відблисків і т.п., що у реальних умовах можуть з'являтися в полі зору

передавальної камери і бути причиною помилкових сигналів, а також нестабільністю в часі освітленості об'єктів, що спостерігаються, насамперед, змінним світловим випромінюванням дуги (при зварюванні в захисних газах і без захисту дуги).

Слідкуючі телевізійні системи для зварювального виробництва в залежності від способу одержання інформації про положення зображення лінії (смуги, границі) на світлочутливому шарі передавальної трубки можна віднести до однієї з двох груп: а) часовоімпульсні системи; б) системи з визначенням положення контрастного елемента за струмом розгортки. В обох випадках вимірювання можуть здійснюватися уздовж напрямку як рядкової, так і кадрові розгортки.

Якщо необхідні для роботи фотоелектричних і телевізійних систем світлоконтрастні елементи на поверхні виробу відсутні, то застосовують спеціальні методи освітлення і виділення інформації про положення лінії з'єднання. Так, при зварюванні кутових швів таврових з'єднань проектор з потужною ксеноновою лампою освітлює зону з'єднання під кутом 65° (рис. 24) до горизонталі, а відеосенсор спрямований на цю ж зону під кутом 45° .

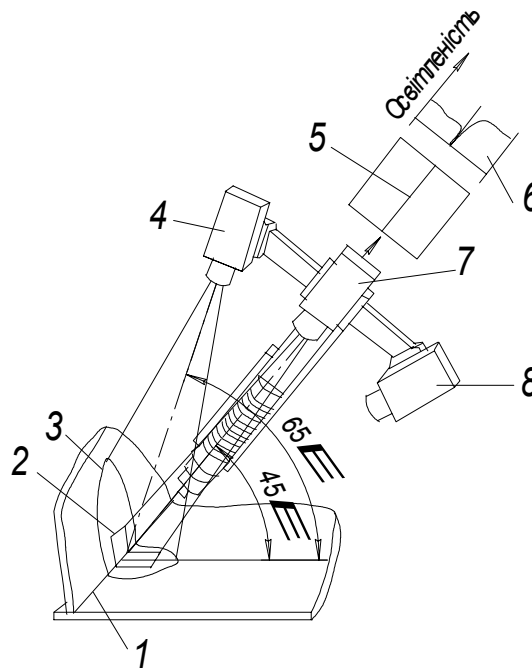


Рисунок 24 – Схема визначення положення лінії таврового з'єднання за допомогою відеосенсора:

1 - лінія з'єднання елементів, що зварюються; 2 - зона видимості; 3 - зона освітлення; 4 - освітлювач; 5 - зображення лінії з'єднань на відеоконтрольному пристрої; 6 - освітленість зони видимості; 7 - корпус фотоприймача; 8 - проектор світлової плями, що переміщується

За рахунок різних кутів падіння світлового потоку на вертикальні і горизонтальні елементи, що зварюються, їхня освітленість виявляється різною. Як фотоприймач використовують напівпровідникову

світлочутливу матрицю з кількістю елементів 50х50. З елементів матриці одержують аналоговий сигнал, пропорційний освітленості, що потім конвертується в чотирибітовий цифровий сигнал (рівні освітленості 0—15). Цей сигнал надходить у мікроЕОМ, яка його обробляє і видає інформацію для коректування програми. Щоб визначити положення початку і кінця шва, у зону спостереження проектується точка діаметром 3 мм. Поява точки у певному місці зони спостереження свідчить про наявність шва під сенсором, а її зникнення — про прохід кінця шва під сенсором. Ця інформація використовується для ввімкнення і вимикання зварювання.

Розглянемо ще приклад, коли світлоконтрастні елементи на поверхні виробу відсутні — зварювання стикових з'єднань із двостороннім обробленням. Під час зварювання на одній стороні відбувається потемніння поверхонь оброблення з протилежної сторони і вони стають неконтрастними щодо прилеглих поверхонь виробу. Тоді відеосенсори використовують у поєднанні зі світловим перерізом і триангуляційним методом вимірювання. У найпростішому випадку (рис. 25) світловий потік від освітлювача 1 із прямолінійним світним тілом, розташованим паралельно поверхні виробу, частково екранується шторкою 2, розташованою на відстані 10—15 мм від поверхні виробу 3. Як видно з рис. 25, висота зображення оброблення, що проєкціюється на світлочутливу поверхню передавальної трубки 4, визначається співвідношенням

$$H_T = k \frac{H}{\sin \alpha} \sin(\alpha + \beta),$$

де H — глибина оброблення;

α — кут, під яким тінь від шторки падає на поверхню виробу;

β — кут спостереження; k — коефіцієнт оптичного збільшення.

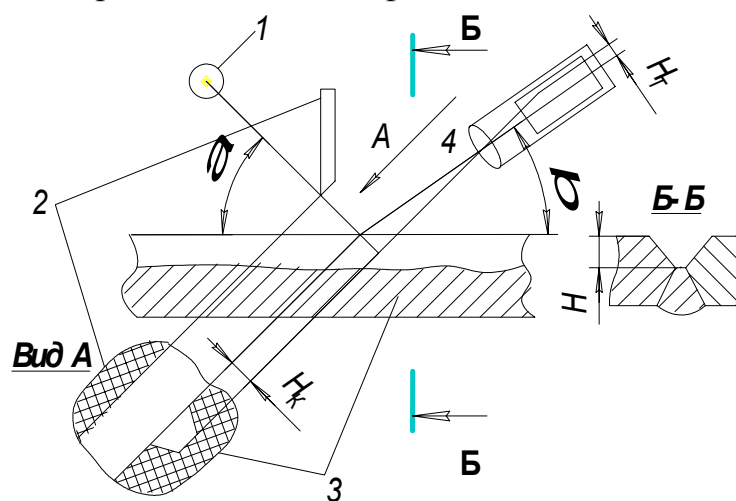


Рисунок 25 – Метод світлового перерізу. Схема пристрою

Найбільше збільшення при даному α виходить, якщо $\alpha + \beta = 90^\circ$. Сигнал передавальної трубки 4, перетворений у зображення стику на екрані відеоконтрольного пристрою, дозволяє чітко розрізняти і при необхідності вимірювати такі геометричні параметри: площу перерізу оброблення; зазор або відстань між поверхнями скосу кромки на заданій глибині; взаємне перевищення поверхонь елементів, що зварюються. Метод світлового перерізу можна використовувати для одержання інформації та адаптивного керування параметрами процесу зварювання. Світловий переріз можна здійснити також світловою площиною, зображеною точковим променем, що рухається, (рис. 26,а), або стаціонарним щільним променем або стаціонарною світлотіньовою границею.

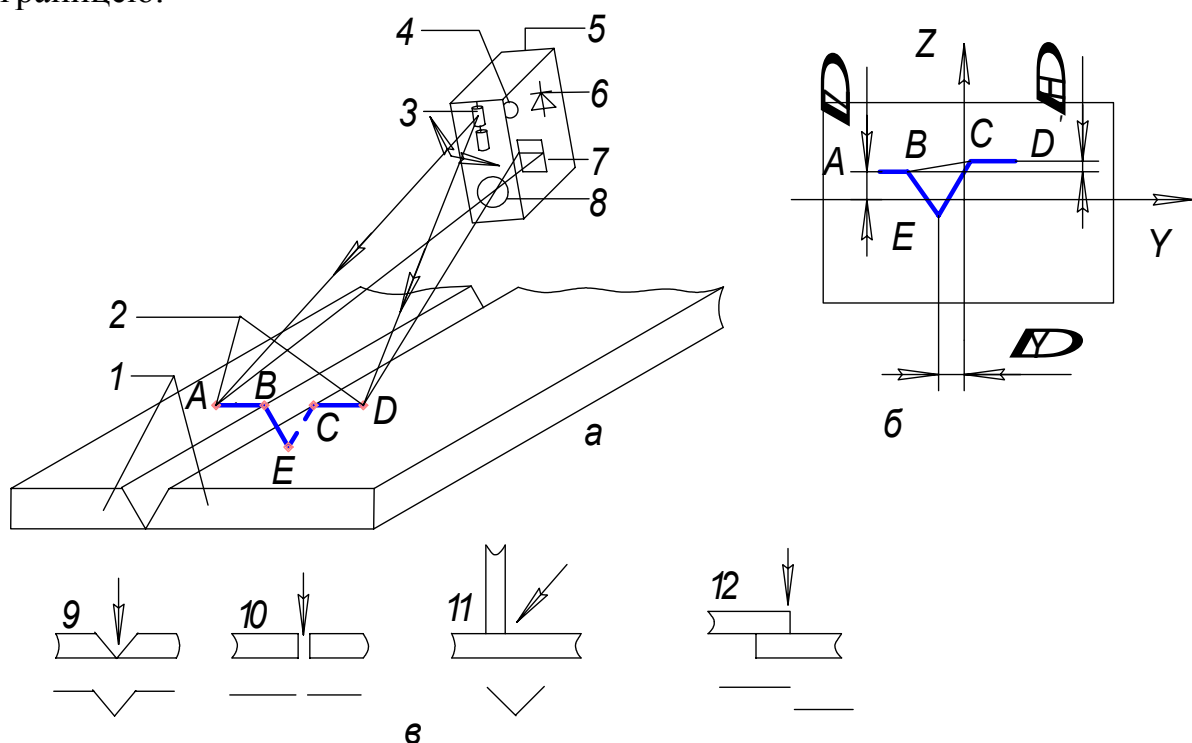


Рисунок 26 – Триангуляційний метод вимірювання положення лінії з'єднання за допомогою відеосенсора:

а — схема, що пояснює сутність методу; б — зображення на екрані відеоконтрольного пристрою; в — напрямок освітлення і зображення при різних типах з'єднань; 1 — елементи, що зварюються; 2 — освітлена лінія (ABCECD) на поверхні елементів, що зварюються;

3 — скануюче дзеркало; 4 — коліматор; 5 — відеосенсор; 6 — світлодіод; 7 — матричний фотоприймач; 8 — об'єктив; 9 — стикове з'єднання з обробленням; 10 — стикове з'єднання із зазором; 11 — таврове з'єднання; 12 — з'єднання внапуск.

Картина, сприймана матричним (або іншим двовимірним) фотоприймачем, визначається типом з'єднання (рис. 26,б,в). Слід лінії з'єднання чітко видний і, отже, його координати щодо сенсора можуть

бути визначені. Фактичні зсуви лінії з'єднання по координатах Y_3 і Z_3 пов'язані з видимими на відеоконтрольному пристрої (координати Y'_3 і Z'_3) такими співвідношеннями:

$$\Delta Y'_3 = \Delta Y k_{o.b};$$

$$\Delta Z'_3 = \Delta Z_3 k_{o.b} k_{tr},$$

де $k_{o.b}$ коефіцієнт оптичних перетворень і перетворень відеосигналу в зображення;

k_{tr} —коефіцієнт тріангуляції.

У системах із застосуванням тріангуляційного методу можуть бути також визначені зазор у з'єднанні (перевищення кромки $\Delta H = \Delta H'/(k_{o.b} k_{tr})$) і переріз оброблення (площа трикутника $B'C'E'$ з урахуванням коефіцієнтів $k_{o.b}$ і k_{tr}) або частини з'єднання, що заплаплюється (для кутових з'єднань зовні).

Для того щоб робити вимірювання в зонах, розташованих перед точкою зварювання і після неї, можна здійснювати кругове сканування лазерного променя навколо точки зварювання. При цьому за один цикл сканування виконується вимірювання одного циліндричного або конічного світлового перерізу з'єднання, підготовленого під зварювання, і одного перерізу отриманого зварного з'єднання.

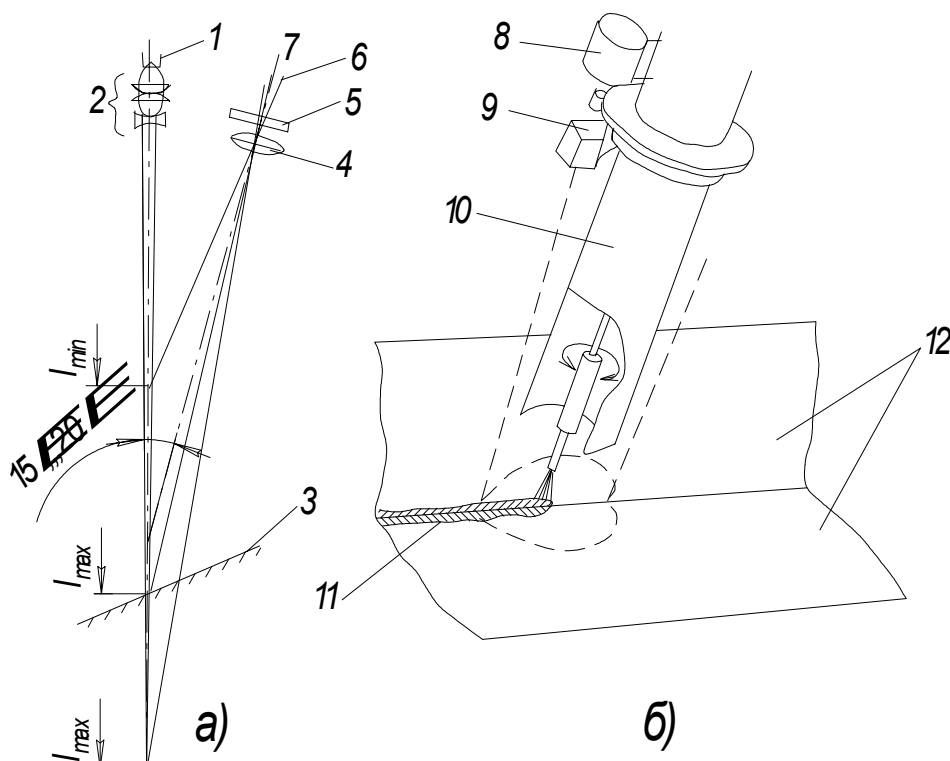


Рисунок 27 – Відеосенсор із круговим скануванням навколо точки зварювання:

а – схема використання тріангуляційного методу в сенсорі з фотоприймачем у вигляді лінійки фотодіодів; б – схема обертання сенсора навколо точки зварювання;

1 – лазерний діод; 2 – фокусувальна система; 3 – поверхня виробу; 4 – об'єктив; 5 – інтерференційний фільтр; 6 – фотоприймач (лінійка

фотодіодів ПЗС); 7 – зображення освітленої точки виробу на фотоприймачі; 8 – двигун кругового сканування; 9 – відеосенсор; 10 – пальник; 11 – зварний шов; 12 – поверхні елементів, що зварюються

Система, що реалізує такий метод вимірювання, оснований на використанні лазерного далекоміра із застосуванням принципу триангуляції (рисунок 27). Як випромінювач використовується напівпровідниковий лазер арсеніду галію з потужністю від 1 до 10 Вт, що працює на хвилі довжиною 904 нм (ближнє інфрачервоне світло). Випромінювання лазера формується оптичною системою в тонкий промінь з діаметром 0,2 мм біля виходу оптичної системи і 0,3 мм на відстані 180 мм. На поверхні виробу проектується яскрава пляма відповідного діаметра. Положення зазначеної плями спостерігається під кутом $15 - 20^\circ$ до осі цього променя другою оптичною системою, що фокусує зображення плями на напівпровідниковій лінійці фотодіодів із зарядним зв'язком (ПЗС). Відстань між центрами елементів такої лінійки може складати 10—15 мкм, а чутливість — достатня для одержання помітного імпульсу в широкому діапазоні зміни коефіцієнта відображення поверхні виробу. Для зменшення впливу світла дуги перед приймачем ПЗС ставиться інтерференційний фільтр. Описана оптична система забезпечує точність 0,3—0,5 мм у залежності від відстані і випадкових перешкод у діапазоні 100—200 мм від вихідного отвору оптичної системи лазерного випромінювача.

Далі інформація піддається попередній фільтрації, визначається відстань і в результаті багаторазових вимірювань (приблизно 200 протягом одного повороту датчика навколо пальника, з яких близько 80 % достовірних) формується повна тривимірна модель з'єднання, що зварюється. З цієї моделі можна визначити: кут оброблення або кут між елементами, що зварюються; величину перевищення кромки; форму наплавленого валика; відстань між пальником і поверхнею виробу; кут між віссю пальника і лінією з'єднання.

Для повного використання інформації, одержуваної за допомогою сенсора такого типу, система керування повинна містити в собі один 16-розрядний мікропроцесор або два 8-розрядних. Крім того, система керування повинна містити математичну модель процесу зварювання, яку можна використовувати для керування режимом зварювання в залежності від геометричних параметрів оброблення й одержуваного зварного з'єднання.

6.5 Слідкуючі системи з електророзрядними датчиками

Вони оснований на використанні електричного кола, утвореного щупом-електродом, виробом і електричним розрядом (наприклад, дугою) між ними. Як щуп-електрод можна використовувати спеціальний електрод,

розташований перед точкою зварювання, або зварювальний електрод. Останній – найбільш перспективний.

Використання зварювальної дуги як датчика положення зварного з'єднання, зосновано на вимірюванні параметрів дугового процесу, що залежать від відстані між кінцем електрода і поверхнею виробу. При зварюванні плавким електродом у якості основного інформаційного параметра використовується зварювальний струм. При зварюванні неплавким електродом із застосуванням джерела живлення з стрімко падаючою характеристикою більш інформативним параметром є напруга на дузі. При зварюванні плавким електродом з короткими замиканнями дугового проміжку можуть виявитися ефективними методи вимірювання, що використовують як інформативний параметр частоту коротких замикань. Тип слідкуючої системи з використанням зварювальної дуги як датчика у значній мірі визначається технологією і технікою зварювання і конструкцією зварювальної апаратури. Таке безперервне вимірювання без сканування можна застосувати, якщо за технологією припустиме зварювання двома дротами (розщепленим електродом), розташованими поперек лінії з'єднання. При цьому як сигнал положення пари електродів щодо з'єднання, що зварюється, використовується різниця двох струмів, що протікають через електродні дроти (рис. 28). Ці системи можна застосувати при зварюванні стикових швів з обробленням кромки і різних кутових швів. Основну складність викликає реалізація двох ізольованих між собою струмопідводів до електродних дротів і забезпечення ізоляції між ними. Крім того, струмопідвід до дроту повинен бути фіксований, а конструкція подавального механізму забезпечувати однакові швидкості подачі дротів. При цьому різниця поперечних перерізів дротів у кожен момент часу повинна бути гранично малою.

Значно більш широкі можливості представляє вимірювання зі скануванням дугою поперек лінії з'єднання. Сканування здійснюється рухом зварювального пальника (зворотно-поступальним або коливальним) або впливом на дугу керованим магнітним полем.

Вимірюючи параметри дугового процесу в часі і зіставляючи результати вимірювання з фазою сканування, можна одержати інформацію про положення характерних елементів з'єднання, що зварюється, (зазору, стінок оброблення, верхньої кромки і т.д.). У зв'язку зі значними випадковими складовими в параметрах дугового процесу ефективним буде порівняння інтегральних значень параметрів на суміжних півперіодах сканування.

В електромеханічних сканувальних пристроях режим сканування повинен бути погоджений з необхідною технологією і технікою зварювання, виходячи з умов формування зварного шва з заданими параметрами. У цьому випадку параметри розгортки (амплітуда, частота, форма траєкторії) визначаються вимогами технології і для розроблювача

системи спостереження є заданими. При скануванні шляхом відхилення дуги електромагнітним полем параметри розгортки можуть вибиратися в більш широких межах, тому що частота відхилення дуги може бути значно більшою, а час перебування дуги у відхиленому положенні — меншою ніж при електромеханічному скануванні

Таким чином, системи з використанням зварювальної дуги як електророзрядного датчика перспективні завдяки таким основним перевагам: а) вимірювання здійснюється безпосередньо в точці зварювання, що виключає запам'ятовування отриманої інформації при будь-яких формах лінії з'єднання; б) у зоні зварювання відсутні будь-які

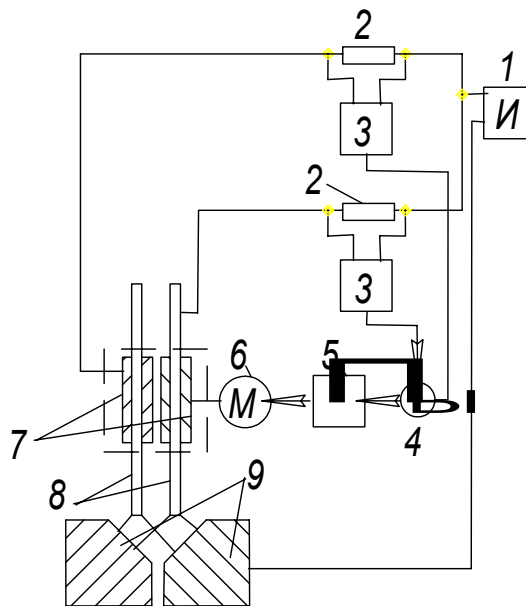


Рисунок 28 – функціональна схема системи наведення електродів на лінію з'єднання, що зварюється, при двохелектродному зварюванні (розщепленим електродом):

1 — джерело живлення дуги; 2 — вимірювальні шунти; 3 — вимірювальні перетворювачі; 4 — пристрій, що порівнює; 5 - підсилювач; 6 - виконавчий двигун; 7 — струмопід'єднувальні елементи зварювального пальника; 8 — електродні дроти; 9 — заготовки, що зварюються

вимірювальні пристрої; в) керування безпосереднім положенням дуги виключає вплив таких факторів: знос струмопідводу, відхилення вільного кінця електродного дроту і т.д., що не можуть бути враховані в більшості інших видів систем.

6.6 Слідкуючі системи з електромагнітними датчиками

Вони найбільш розповсюджені. Електромагнітні датчики можуть

бути використані для визначення положення: стику без оброблення кромки; кромки верхнього листа з'єднання внапуск; скосів кромки; для вимірювання відстані до поверхні елементів, що зварюються; ширини зазору; величини перевищення кромки; а також для визначення положення початку і кінця виробу, що зварюється, або прихваток. Вибираючи різні положення датчиків щодо поверхонь елементів, що зварюються, можна використовувати ці датчики при зварюванні різних з'єднань і їхніх різновидів (рис. 29).

Найпростіший електромагнітний датчик складається із Ш — подібної магнітної системи і трьох обмоток (рисунки 30). Обмотка 3, розташована на середньому стержні, живиться від джерела струму

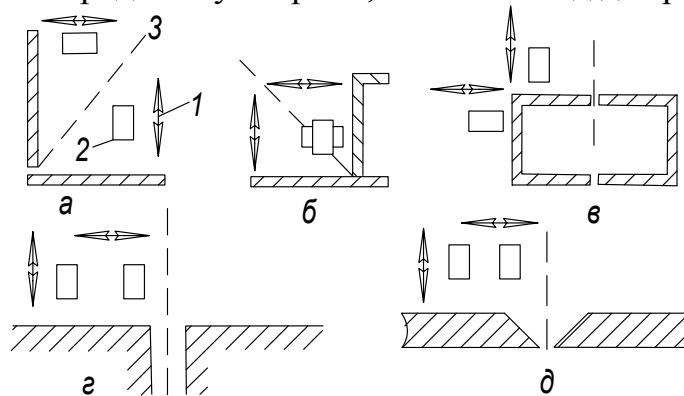


Рисунок 29 – Типи і конструктивні різновиди з'єднань:

а — кутове (зсередини); б — таврове, з однією вузькою полицею;

в — стикове (при точних розмірах елементів, що зварюються);

г — стикове, у вузький глибокий зазор; д — стикове, з обробленням кромки; 1 — напрямок переміщення; 2 — датчик;

3 — вісь зварювального електрода

підвищеної частоти. Змінне магнітне поле, створюване обмоткою, наводить у виробі, що зварюється, вихрові струми. Зазор між деталями не проводить електричний струм та розділяє вихрові струми на два контури, (дивись рис. 30,б). Результоване магнітне поле датчика створюється не тільки струмом, що протікає в обмотці 3, але і вихровими струмами.

При симетричному, щодо датчика, розташуванні зазора - контури вихрових струмів рівні, симетричні і $I_1 = I_2$. Відповідно рівні магнітні потоки Φ_1 і Φ_2 та їх е.р.с., що наводиться ними у вимірювальних обмотках 1 і 2. При зустрічному включенні обмоток 1 і 2 е.р.с. компенсуються, і сигнал на виході датчика дорівнює нулю.

При несиметричному розташуванні датчика щодо стику (рис. 30,в) контури вихрових струмів виявляються різними, струм I_1 не дорівнює I_2 . Це приводить до порушення рівності магнітних потоків Φ_1 і Φ_2 і виникнення на виході датчика е.р.с. Е, що сигналізує про відхилення середньої площини датчика від площини стику. Напрямок відхилення

датчика від стику видно за зсувом фази е.р.с. відносно струму, який протікає в обмотці 3. При зміні напрямку відхилення на протилежний фазовий зсув е.р.с. змінюється на 180° .

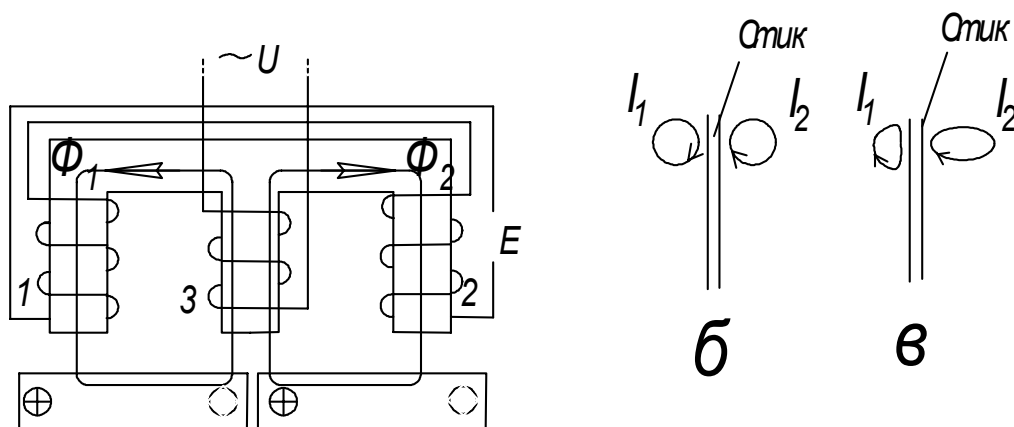


Рисунок 30 – Принцип роботи електромагнітного датчика

Електромагнітні датчики найбільш широко застосовують для визначення положення стику при зварюванні стикових з'єднань без оброблення кромки.

На вихідний сигнал датчика впливають: координати стику; відхилення геометричних параметрів з'єднання, підготовленого під зварювання; властивості матеріалу виробу; розходження електричних і магнітних властивостей матеріалу заготовки, викликані змінами хімічного складу й умовами попередньої механічної обробки; характеристики навколишнього середовища і процесу. При зварюванні стикових швів значний вплив на вихідний сигнал датчика робить взаємне перевищення кромки.

Щоб зменшити похибку датчика, що виникає при перевищенні кромки, використовують різні схемні і конструктивні способи компенсації [16]. Один з них оснований на розходженні фази сигналу, одержуваного від датчика, якщо він зміщений щодо стику при відсутності або при наявності перевищення кромки. Для компенсації перевищень фаза опорного сигналу, подаваного на фазовий детектор, підбирається так, щоб вона відрізнялася на 90° від складової фази вихідного сигналу датчика, викликаного перевищенням кромки. При цьому вихідний сигнал датчика практично не залежить від величини перевищення кромки.

Крім того, щоб компенсувати перевищення кромки, магнітопровід датчика можна виконати з трьох частин (рис. 31): центральної Ш - подібної і двох бічних П-подібних, відділених від центральної немагнітними прокладками. На середньому стержні розташована обмотка збудження. На проміжних частинах Ш - подібного магнітопроводу розташовані вимірювальні, диференціально включені обмотки 2, а на крайніх

магнітопроводах розміщені додаткові (компенсуючі) обмотки 3, з'єднані послідовно із суміжними вимірювальними обмотками. Сигнал на виході додаткових обмоток залежить тільки від зміни перевищення кромки і компенсує складовий сигнал вимірювальних обмоток, що залежить від перевищення кромки. У результаті вихідний сигнал датчика визначається його положенням щодо стику і не залежить від перевищення кромки.

В останні роки з'являються системи зі скануючими електромагнітними датчиками, що у поєднанні з обробкою сигналу датчика засобами обчислювальної техніки дозволяють розширити можливості електромагнітного методу вимірювання, щоб керувати положенням електрода відносно з'єднань, що зварюються.

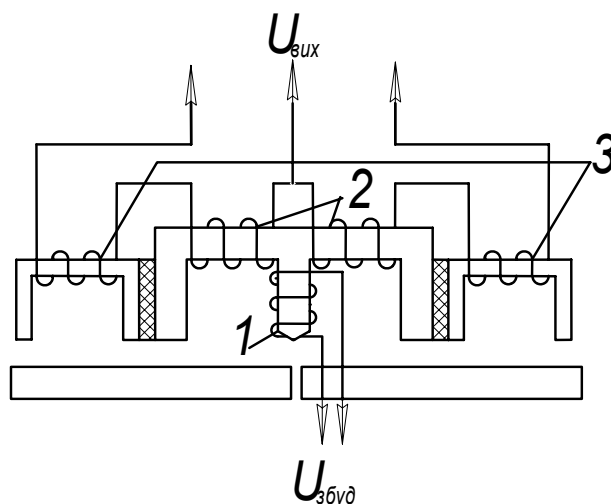


Рисунок 31 – Схема електромагнітного датчика з компенсуючими обмотками

Для розглянутих електромагнітних датчиків частота напруги живлення обмотки збудження може бути від одного до декількох десятків кілогерц, що дозволяє звести до мінімуму вплив на вихідний сигнал датчика електромагнітних полів промислової частоти.

Слідкуючі системи з фотопірометричними, пневматичними й іншими датчиками. Системи з фотопірометричними датчиками застосовують головним чином при зварюванні спіральшовних труб, коли нагрівання зони з'єднання, отримане при зварюванні першою головкою, використовується потім для вимірювання положення стику датчиками наступних зварювальних головок.

Використовують також системи стеження з пневматичними датчиками, що вимірюють відстань до поверхні виробу. Відомі два типи таких датчиків:

1. Датчик типу сопло-заслінка, тобто дросельного типу (рисунок 31,а), що працює при надлишковому тиску живлення $P_d = 0,14$ Мпа і забезпечує вихідний сигнал $P = 0,02 — 0,1$ Мпа. Діаметр отвору сопла $d_c = 0,5 — 0,1$ мм, діаметр дроселя $d_d = 0,25$ мм. Найбільша відстань,

контрольована датчиком, вимірюється десятими частками міліметра, що затрудняє його використання при грубих поверхнях, характерних для багатьох зварювальних виробів.

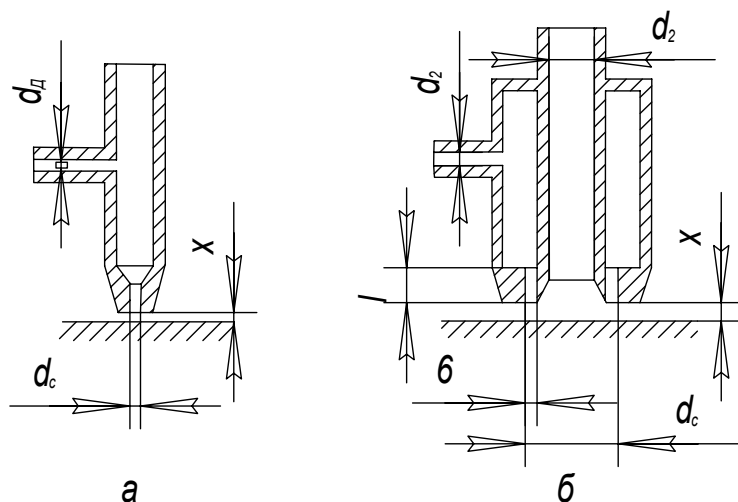


Рисунок 32. Схеми пневматичних датчиків:

а – дросельного (типу сопло-заслінка); б – струминного

2. Датчик, оснований на використанні тиску відбитого струменя (рис. 32,б). Він працює при надлишковому тиску $P_d = 0,1 — 0,2$ Мпа. За допомогою цього датчика можна контролювати положення поверхні виробу на відстані до 6 мм.

Відомі й інші способи вимірювання положення з'єднання відносно зварювального пальника, зокрема за допомогою іонізаційних, акустичних, ультразвукових і інших датчиків.

З аналізу особливостей різних слідкуючих систем випливає, що спосіб вимірювання положення стику з'єднання, що зварюється, датчик і його конструкцію можна вибрати, з огляду на такі основні фактори: тип зварного з'єднання; габарити вільного простору в зоні, що прилягає до з'єднання; матеріал виробу; характер його поверхні і кромки, підготовлених під зварювання; особливості технологічного процесу виготовлення виробу. Деякі з розглянутих способів вимірювання положення з'єднання стосовно електрода використовують у системах адаптації роботів для дугового зварювання.

Основні вимоги до зварювального устаткування, оснащеного слідкуючими системами.

1. Між зварювальним інструментом (пальником, мундштуком) і датчиком повинна бути мінімальна кількість проміжних елементів, а взаємне положення електрода і датчика не повинне змінюється під дією зусиль при подачі дроту (наприклад, якщо зварювальний дріт упирається в поверхню виробу при збудженні дуги), вібрацій, випадкових механічних впливів. Щонайпомітнішим у цьому змісті рішенням буде кріплення

датчика до нижньої частини зварювального інструмента.

2. Можливість настроювання (підстроювання) взаємного положення зварювального інструмента і нейтрального положення датчика (вимірювального пристрою) при налагодженні і під час зварювання.

3. Перехід на ручне керування коректувальними переміщеннями у випадку раптового виходу з ладу слідкуючої системи для того, щоб закінчити зварювання виробу. Для цього установка, верстат, зварювальний автомат повинні забезпечувати можливість спостереження за контактом зварювального інструмента із виробом, що зварюється, і бути оснащені відповідною апаратурою керування й індикації.

4. Маса рухомих частин, переміщуваних приводами слідкуючої системи, повинна бути мінімальна. У цьому випадку найкращим рішенням при використанні слідкуючої системи є виконання коректувальних переміщень тільки зварювальним інструментом.

5. Маніпуляційна система і базові (нерухомі) елементи зварювального устаткування, а також їхні з'єднання повинні мати підвищену міцність.

6. Кінематичні ланцюги і напрямні механізмів коректувальних переміщень повинні складатися з мінімальної кількості елементів, не мати люфтів і забезпечувати найменшу різницю між опором переміщення в русі і при зрушенні з місця.

7 Адаптивні системи керування дуговим зварюванням

Системи керування, розглянуті в п. 6.1 - 6.9, мають загальні ознаки. По-перше, процес формування зварного з'єднання як об'єкт із розподіленими параметрами і внутрішніми зв'язками (див. рис. 1) розділявся на декілька одновимірних об'єктів, для яких передбачалася заздалегідь відома залежність регульованої величини від керуючого впливу. По-друге, алгоритм керування приймався постійним у процесі функціонування системи, що виключало її самонастроювання у випадку зміни умов формування зварного з'єднання, власних параметрів регулятора, впливу неврахованих збурювань і т.д. Ці спрощення й обмеження цілком припустимі при рішенні порівняно простих задач автоматизації дугового зварювання. Однак сучасний рівень розвитку техніки і технології дугового зварювання вимагає створення систем адаптивного керування, функціонування яких пов'язане зі зміною закону керування на основі інформації про поведінку об'єкта керування.

Актуальність проблеми створення адаптивних систем визначається труднощами забезпечення високої точності підготовки і складання виробів під зварювання, при якій досягається сталість форми, площі оброблення і зазору між деталями, що зварюються. Системи адаптивного керування якістю зварних з'єднань в умовах технологічних збуджень, що змінюються

в припустимих межах, особливо необхідно використовувати в робототехнічних комплексах, що реалізують безлюдну технологію.

Для того щоб створити систему адаптивного керування, необхідно мати пристрій для автоматичного вимірювання основних розмірів оброблення кромки, зазору між деталями, що зварюються, перевищення кромки, положення шва в просторі. Крім того, необхідна математична модель, що дозволяє за одержаною інформацією обчислювати виправлення до заздалегідь встановленого режиму зварювання і траєкторії руху електрода щодо виробу. Ці виправлення повинні визначатися в реальному масштабі часу з урахуванням динаміки об'єкта керування. Така система не має зворотного зв'язку за кінцевими результатами — розмірами і формою зварного шва. У цьому її недолік. Математична модель повинна досить точно враховувати вплив всіх основних факторів, що визначають утворення зварного з'єднання.

Можна створити систему зі зворотним зв'язком, що дозволяє автоматично коректувати математичну модель безпосередньо в процесі зварювання. Однак процес самонавчання вимагає часу. Тому не виключена поява дефектних ділянок зварних швів.

Адаптивні системи можуть бути побудовані і на інших принципах. Велику інформацію про утворення шва дає теплове поле, що виникає у виробі під час зварювання. Цю інформацію можна, наприклад, одержати за допомогою телевізійного зображення в інфрачервоній частині спектра (тепловізора). Для керування доцільно використовувати залежність теплового поля від різного роду збуджень, введену в математичну модель.

Один з найважливіших етапів проектування адаптивних систем — розробка адекватних математичних моделей об'єктів регулювання, що розвивається в наш час за такими напрямками:

1. Застосування класичних методів опису процесів теплопровідності, гідродинаміки, деформацій і т.п. Наприклад, традиційно використовуваний спосіб опису теплових процесів у виробі, що зварюється, на основі рівняння теплопровідності з урахуванням виділення теплоти фазового переходу.

2. Розробка регресійних моделей геометрії, хімічного складу, надійних властивостей зварного шва.

3. Підхід, розроблений у МВТУ ім. Н.Е. Баумана, що дозволяє апроксимувати залежність якісних показників від параметрів режиму за допомогою звичайних диференціальних рівнянь.

Кожен підхід має певні переваги і недоліки. Так, при першому підході зберігаються наочність і фізична сутність процесу, досить обґрунтовано вводяться критерії оптимізації якості з'єднання, однак математичний апарат залишається складним, а апаратурна реалізація закону керування в реальному масштабі часу вимагає застосування складних обчислювальних пристроїв. При другому підході виходять прості

алгоритмічні вирази, що дозволяють швидко і точно розраховувати певні параметри, з'єднання, але динаміка процесів залишається поза полем зору, тому важко застосувати ці моделі при синтезі систем керування. Третій підхід - це спроба зберегти позитивні сторони регресійних моделей і в той же час врахувати розвиток процесів у часі. Отримані у вигляді звичайних диференціальних рівнянь моделі дозволяють застосовувати теорію керування системами із зосередженими параметрами до синтезу САР процесами дугового зварювання. Однак неминучі при реалізації підходу допущення, що спрощують, вимагають у кожному випадку вивчення зв'язку між регульованою величиною і її впливом на якість з'єднання. На підставі розглянутих підходів можна побудувати математичну модель процесу з кінцевою точністю. Це пов'язано з тим, що на стадії проектування неможливо врахувати всі збурювання, що діють на процес. Тому в подібних випадках визначають модель для найбільш типових режимів функціонування об'єкта.

8 Керування перенесенням електродного металу

Плавлення і пренесення електродного металу при дуговому зварюванні впливають на металургійні процеси в зварювальній ванні і динамічні характеристики електричних параметрів зварювальної дуги, значною мірою визначають технологічні можливості процесу, його стабільність і стійкість.

Пренесення електродного металу характеризуються розмірами крапель і частотою їхнього переходу в зварювальну ванну. Підвищення щільності зварювального струму в електроді супроводжується послідовним переходом від об'ємнокраплинного з короткими замиканнями дугового проміжку до дрібнокраплинного і струминного перенесень. Формування і відриву краплі визначаються співвідношенням двох сил, що діють на краплю в протилежних напрямках. Сила поверхневого натягу $F_{\text{пн}}$, що утримує на торці електрода краплю, обернено пропорційна її радіусу.

Електромагнітна сила, що відриває краплю від електрода,

$$F_{EM1} = \frac{\mu_0 I_D^2}{4\pi} \ln \frac{d_K}{d_E}. \quad (1)$$

Сила, що відштовхує краплю від стовпа дуги вгору,

$$F_{EM2} = \frac{\mu_0 I_D^2}{4\pi} \ln \frac{d_K}{d_a}. \quad (2)$$

де μ_0 - магнітна постійна;

I_D — струм дуги;

d_K , d_e , d_0 - відповідно діаметри краплі, електрода, анодної плями на краплі.

Результуюча електромагнітна сила

$$F_{EM} = \frac{\mu_0 I_D^2}{4\pi} \ln \frac{d_K}{d_E}. \quad (3)$$

Крапля може відірватися при виконанні умови:

$$F_{EM} > 0 ; F_{EM} > F_{ПН} \quad (4)$$

З (3) і (4) випливає, що крапля відривається лише при певному співвідношенні d_E і d_a . Найбільш просто здійснюється кероване пренесення при дуговому зварюванні в аргоні, оскільки в цьому випадку $d_a > d_E$.

При зварюванні у вуглекислому газі кероване пренесення із примусовим відривом крапель одержати не вдається, тому що дуга стиснута і $d_a < d_E$.

Пренесенням електродного металу можна керувати, впливаючи на величину сил $F_{ПН}$ і $F_{ЕМ}$. На поверхневий натяг розплавленого металу впливає склад газового середовища, наприклад, малі домішки кисню в захисному середовищі при зварюванні в аргоні сприяють зменшенню розмірів краплі і переходу до струминного перенесення на більш низьких струмах. Практичне застосування одержав спосіб керування пренесенням при накладенні на зварювальний струм короткочасних потужних імпульсів, що дозволяють змінити характер пренесення електродного металу з великокраплинного на дрібнокраплинне або струминне, підвищити стабільність процесу (наприклад, при зварюванні алюмінієвих сплавів у середовищі аргону знизити нижню межу струму і забезпечити можливість зварювання швів у всіх просторових положеннях).

При імпульсно-дуговому зварюванні значно зменшуються втрати легуючих елементів у розплавленому металі. Процес імпульсно-дугового зварювання здійснюється без введення зворотних зв'язків за параметрами плавлення електрода, тому він відноситься до розімкнутих систем керування. Однак досвід експлуатації показує, що за рахунок раціонального вибору амплітуди і тривалості керуючих імпульсів, особливо в поєднанні з раціональним вибором газового захисного середовища, можна досягти гарних результатів, забезпечивши стійкий процес плавлення електродного дроту і невеликі втрати на чад і розбризкування.

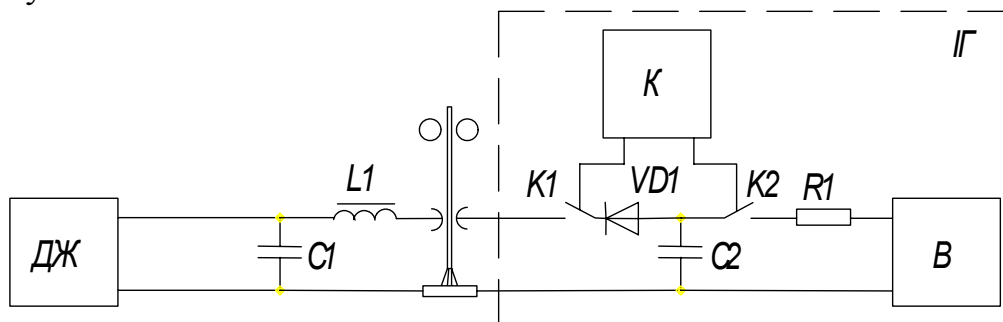


Рисунок 33 – Схема пристрою для імпульсно-дугового зварювання

Для генерування імпульсів струму використовують спеціальні імпульсні генератори ІГ, які підключають паралельно основному джерелу живлення ДЖ (рис. 33), що забезпечує постійний базовий зварювальний струм. Імпульс струму виникає при розряді конденсатора С2 через дуговий проміжок і замкнутий ключ К1. Конденсатор заряджається в інтервалі між імпульсами струму від випрямляча В через резистор R1 і ключ К2 (ключ К1 розімкнутий). Керування ключами здійснюється комутатором К. Схема комутації, що складається з ключів К1, К2 і комутатора К, виконується на тиристорах.

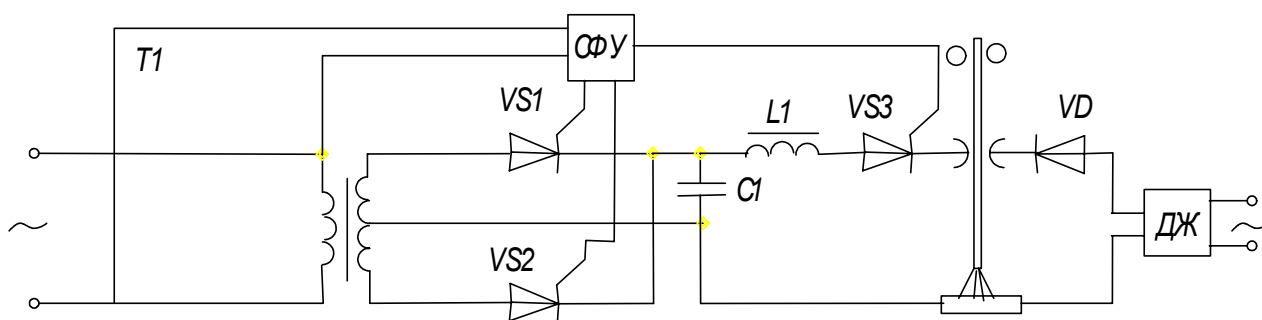


Рисунок 34 – Схема пристрою для імпульсно-дугового зварювання з накопичувальною ємністю

У системах керування процесами пренесення електродного металу найчастіше використовуються схеми з фазовим керуванням СФУ (рис. 34). Тиристори VS1 і VS2 утворюють випрямляч, керований СФУ. Після заряду накопичувальної ємності С1 тиристор VS3 відкривається і струм розряду конденсатора накладається на дугу, форма імпульсів задається параметрами конденсатора С1, дроселя L1. Вентиль VD захищає джерело живлення від пробоя високою напругою. Як ємність С1 застосовують батарею з декількох паралельно включених конденсаторів, що дозволяє регулювати тривалість імпульсів струму. Крім схем, що використовують накопичувальну ємність, застосовуються схеми одержання імпульсів безпосередньо від мережі (рис. 35).

Основний елемент схеми - діодно-тиристорний випрямляч ДТВ, керований СФУ. За сигналами керування СФУ імпульси з вторинної обмотки трансформатора Т1 подаються безпосередньо на дугу.

Перспективним напрямком є створення імпульсних джерел, що забезпечують живлення дуги базовим імпульсним струмом без додаткового силового випрямляча (рис. 36). Крім діодно-тиристорного випрямляча ДТВ схема містить нелінійну регульовану індуктивність L. При проходженні імпульсу струму від вторинної обмотки трансформатора

Т1 через ДТВ і індуктивність L сердечник накопичує певну кількість електромагнітної енергії. У проміжку між імпульсами енергія магнітного поля в сердечнику перетворюється в електричну енергію і через дугу протікає базовий струм.

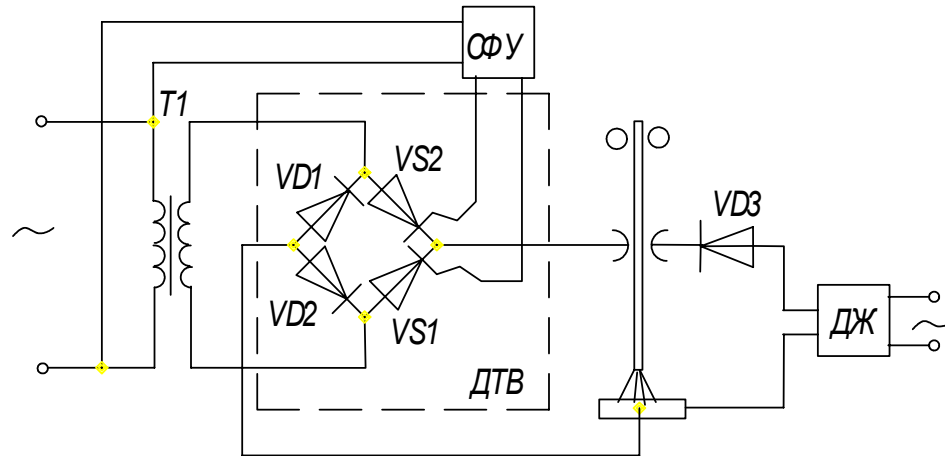


Рисунок 35 – Схема пристрою для імпульсно-дугового зварювання без накопичувальної ємності

Кількість енергії, що запасється сердечником L, а отже і величина базового струму регулюються кількістю витків обмотки і величиною повітряного зазору в магнітопроводі. Амплітуда імпульсів зварювального струму задається кутом відкриття тиристорів VS1, VS2 і кількістю витків вторинної обмотки Т1. Тривалість імпульсів плавно регулюється СФУ. Регулювання фронтів наростання і спаду імпульсів струму забезпечується зміною нелінійної індуктивності. Це дозволяє керувати процесами плавлення і пренесення електродного металу, щоб зменшити вигорання легуючих елементів і поліпшити якість зварних з'єднань, особливо при зварюванні малих товщин.

У схему джерела можна ввести зворотний зв'язок за напругою дуги (через ключ SA), а також передбачити можливість зварювання модульованим низькочастотним імпульсним струмом.

У якості незалежного імпульсного джерела живлення можна використовувати випрямляч типу ВДГІ-301 (рис. 37). Через дугу протікає базовий струм від вторинних обмоток трансформатора Т1 через VD1, VD2 і дросель L. (Схема фазового керування тиристорами VS5, VS6 умовно не показана). Імпульси частотою 50(100) Гц формуються при періодичному шунтуванні дроселя тиристорами VS5 (VS6) при включених тиристорах VS1, VS4. Для переключення джерела на більш круті імпульси (з великими амплітудами) одночасно з тиристором VS5 (VS6) включається тиристор VS2 (VS3).

Базова напруга, струм, амплітуда і тривалість імпульсів струму регулюються системою фазового керування тиристорами VS1—VS4 і VS5,

VS6.

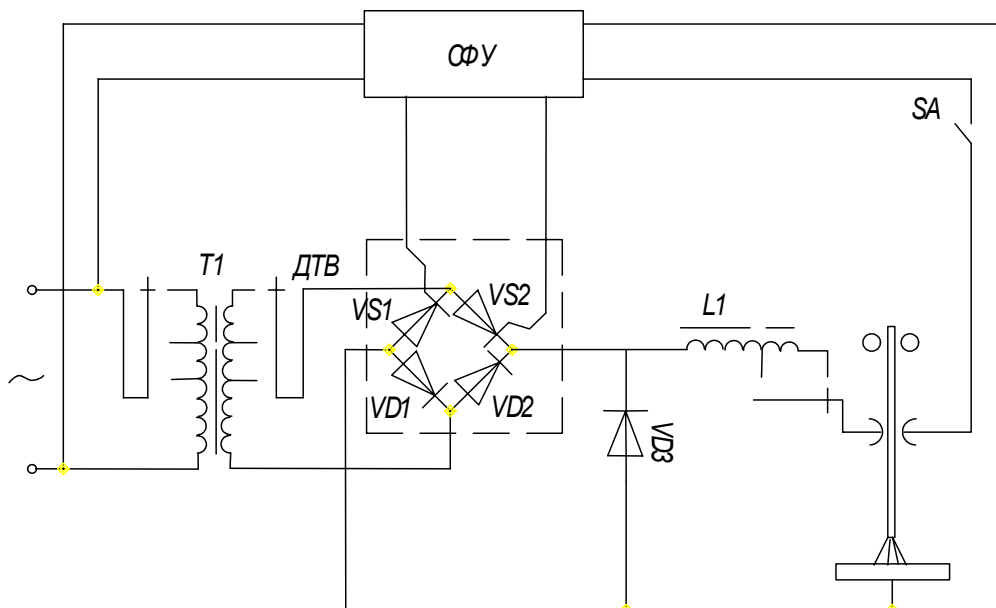


Рисунок 36 – Схема імпульсного джерела живлення з регульованою індуктивністю

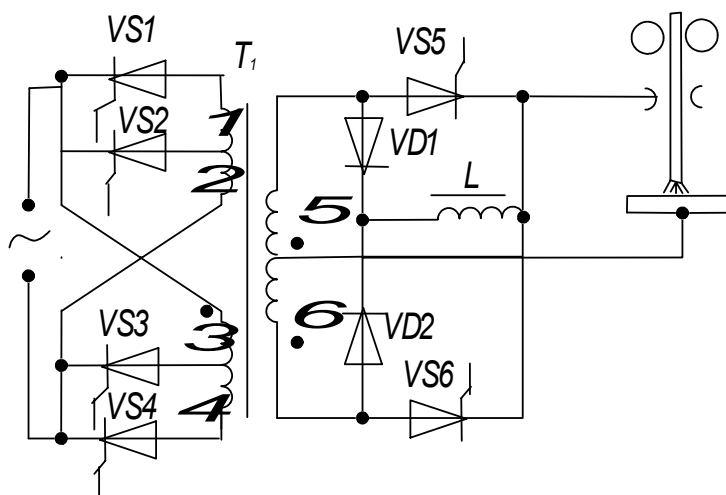


Рисунок 37 – Схема незалежного імпульсного джерела живлення типу ВДГІ-301

9 Системи магнітного керування формуванням і кристалізацією зварних швів

Один з напрямків удосконалювання процесів зварювання плавленням — застосування зовнішніх магнітних полів для переважного впливу на джерело нагрівання (дугу) або гідродинаміку зварювальної

ванни, наприклад, при електромагнітному переміщенні (ЕМП) її розплаву. В обох випадках створюються принципово нові можливості для керування формуванням і кристалізацією зварних швів і обумовленими ними показниками якості зварних з'єднань [13,14]. Системи з використанням електромагнітних впливів (ЕМВ) як керуючих мають найменшу інерційність, тому що на відміну від САУ з впливом на швидкість подачі електрода, величину його вильоту не вимагають застосування електромеханічних виконавчих пристроїв.

Коливання дуги поперек або уздовж шва зовнішнім поперечним, щодо стовпа дуги, реверсованим магнітним полем (рис. 38) застосовуються для поліпшення прогріву кромки, що зварюється, регулювання глибини проплавлення, забезпечення доброго формування швів при підвищених швидкостях зварювання і перекриття валиків при наплавленні. Особливість зварювання з ЕМП — створення керуючих впливів безпосередньо в зварювальній ванні, тобто тієї частини об'єкта керування у якій відбуваються процес утворення зварного з'єднання. Для здійснення ЕМП використовують аксіальне (поздовжнє щодо електрода) магнітне поле (рис. 39). Взаємодія його з радіальною складовою зварювального струму ванни призводить до появи в розплаві масових пондеромоторних сил F :

$$\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B},$$

де $\vec{j}$ - вектор густини зварювального струму, взаємодіючого з магнітним полем, що визначається вектором індукції.

Величина і напрямок дії сили F , необхідні для забезпечення заданих характеристик руху розплаву при ЕМП, регулюються відповідною зміною індукції B і частоти реверсування керуючого магнітного поля (КМП). Об'єктами керування при ЕМП є тепломасоперенесення у зварювальній ванні і кінетика її кристалізації.

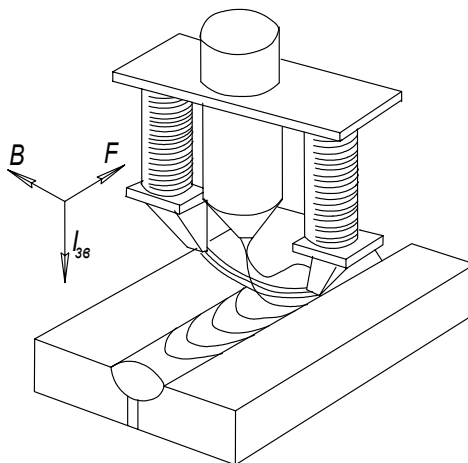


Рисунок 38 – Відхилення дуги уздовж шва поперечним магнітним

полем (B)

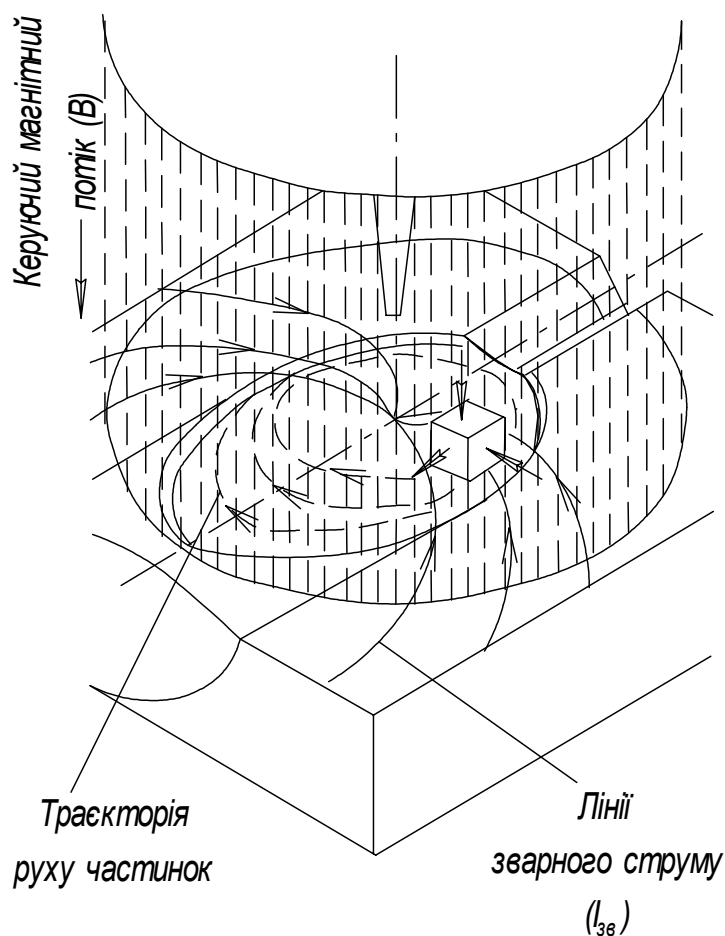


Рисунок 39 – Схема взаємодії зовнішнього аксіального магнітного поля (B) зі зварювальним струмом ($I_{зв}$) при електромагнітному переміщенні (ЕМП) розплаву зварювальної ванни (штриховою лінією зазначені траєкторії руху частинок розплаву під дією електромагнітних сил F).

З'ясовано, що оптимальними є умови переміщення, при яких відбуваються періодичні, з можливо більшою частотою, коливання градієнта температур перед фронтом кристалізації на всій його довжині. Для цього необхідно, щоб за час між двома послідовними реверсуваннями руху потоку розплаву, переміщався його тепловий фронт на всю довжину частини ванни, що кристалізується, без переходу через її повздовжню вісь. Оптимальним умовам ЕМП відповідають подрібнювання і підвищення однорідності структури, попередження утворення пор, одержання швів, мінімально схильних до утворення кристалізаційних тріщин, стабілізація механічних властивостей швів на рівнях їхніх максимальних значень, що досягаються при тих же способах зварювання, але без ЕМП.

Зварювальна ванна, що характеризується малим об'ємом розплаву і високою густиною в ньому електричного струму, є ідеальним об'єктом для застосування ЕМП, оскільки необхідні для досягнення заданих

характеристик переміщення сили F можуть бути отримані при відносно малих значеннях індукції (B) КМП. Це дозволяє застосовувати малопотужні і малогабаритні електромагніти пристрої керування магнітним полем, що особливо важливо при дуговому зварюванні, з огляду на обмежену доступність зони зварювання і необхідність збереження маневреності зварювального інструмента. Електромагніти встановлюють на зварювальні пальники або мундштуки. Задану програму зміни напруги живлення обмотки електромагніта і, відповідно, параметрів КМП забезпечують застосуванням спеціальних схем керування, виконаних у вигляді конструктивно самостійних блоків-апаратів керування ЕМВ.

Найпростіші програми зміни амплітуди або частоти реверсування струму живлення ЕМП при керуванні зварювальною дугою значно ускладнюються при здійсненні ЕМП рідкого металу зварювальної ванни. Тому системи керування електромагнітних впливів універсального призначення повинні забезпечувати задані умови ЕМП, у тому числі при зварюванні як при постійному, так і при змінному струмі, а також при імпульсно-дуговому зварюванні (ІДЗ). У сучасних апаратах керування ЕМП рішення цієї задачі досягається шляхом живлення обмотки.

ЕМВП реверсовані з необхідною частотою групами уніполярних імпульсів, виділених однопівперіодним випрямленням із синусоїдальної напруги промислової частоти. При цьому поточне значення B_0 індукції КМП змінюється від нуля до амплітудного B_m за законом.

$$B_0 = \begin{cases} B_m \sin \omega t, \dots n\pi & 0 < t < \frac{T}{2} \\ 0, \dots n\pi & \frac{T}{2} < t < T \end{cases}$$

де T —період струмової напруги; $\omega = 2\pi/T$.

Щоб розширити технологічні можливості зварювання з ЕМП, в апаратах передбачається регулювання скважності імпульсів струму електромагніта $I_{эм}$ і тимчасових затримок t_z між послідовними групами уніполярних імпульсів $I_{эм}$, а також синхронізація початку відпрацювання заданої програми зміни напруги живлення ЕМ з переднім фронтом імпульсу зварювального струму при імпульсно-дуговому зварюванні.

Список використаної та рекомендованої літератури

1. Анкутдинов В. Б. Частотно-регулируемые асинхронные приводы исполнительных устройств роботов и манипуляторов // системы управления электромеханическими исполнительными устройствами роботов и манипуляторов. – Л., 1980.-С 34 – 37.
2. Вайнер Ш. А., Вайнер С. А. Фотоэлектронные системы управления.- М.: Машиностроение, 1980.-205.
3. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. – М.: Машиностроение, 1966. – 359с.
4. Львов Н. С., Гладков Э. А. Автоматизация и автоматика сварочных процессов. –М.: Машиностроение , 1982, – 302с.
5. Лебедев А. В. Супрун С. А. Выбор привода подачи электродной проволоки полуавтомата дуговой сварки // Автомат. сварка. – 1977. – № 3. – С. 4 – 8.
6. Система автоматического регулирования вылета электрода трактора АДПГ – 500 / Ю. Н. Кутепов, Д. С. Кассов, Ю. И. Рейдерман, А. И. Михеев // Сварочное пр-во. – 1968 № 12 С. 39
7. Сергацкий Г. И., Дубовецкий С. В., Касаткин О.Г. Модели для разомкнутого управления формированием шва при сварке в CO_2 // Автомат. Сварка. – 1983. – № 2. – С. 22 – 26.
8. Дубовецкий С. В., Сергацкий Г. И., Касаткин О.Г. Оптимизация режима сварки угловых швов и CO_2 в различных пространственных положениях // Автомат. сварка. – 1982. – № 5. – С. 34 – 38.
9. Львов С.И. Автоматизация контроля и регулирования сварочных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 128 с.
10. Применение телевизионных установок ПТУ-37 в станах для сварки внутренних швов на трубах / В. А. Тимченко, Н. И. Усик, В. К. Долиненко и др. // Автомат. сварка. – 1977. – № 4. – С. 62 – 64.
11. Воронин Ф. Б., Шарин В. И. Электромагнитная совместимость сварочного и телевизионного оборудования . Электротех. Пром-сеть. Сер. Электросварка. – 1974. – № 1 (22) – С. 19 – 21.
12. Лебедев А. В. Структурная схема процесса саморегулирования дуги при переносе металла с короткими замыканиями // Автомат. сварка. – 1978. – № 5. – С. 7 – 12.
13. Гагев Ю. Г., Татан В. Д. Сварка магнитоуправляемой дугой. – М.: Машиностроение, 1970. – 160 с.
14. Сварка с электромагнитным перемещением / Под ред.В. П.Черныша. – К.: Техніка, 1983. – 128 с.
15. Львов Н. С. Автоматизация контроля и регулирования сварочных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 128 с.
16. Автоматизация сварочных процессов / под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. – К.: Вища шк., Головное изд-во, 1986. – 296 с.

Навчальне видання

Олег Леонідович Гайдамак

Автоматизація дугового зварювання

Навчальний посібник

Орігінал-макет підготовлено автором

Редактор В.О. Дружинина

Коректор З.В.Поліщук.

Навчально-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК №746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42 $\frac{1}{4}$
Друк різнографічний
Наклад 100 прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ