

Ishchenko A.A., Kapustin S.V.

ANALYSIS OF METHODS FOR CUTTING BLANKS IN THE LINES OF ROLLING MILLS

To date, the problem of low productivity of sections for cutting long products, due to the insufficient speed of the process of cutting metal with circular saws, has not been finally solved. This problem was partially solved by the introduction of rotary saws in the 80s of the last century, the distinctive feature of which was to increase the speed of the saw blade for hire during cutting. At the same time, the issues of the reliability of these structures and the improvement of cutting modes, in particular, the speed of rotation of the saw blade, remained unresolved. But over the past half century, there have been no significant changes in the issue of improving dust designs and cutting modes.

Today in the world there is an increasing need for the manufacture of products manufactured using electromechanical dimensional cutting systems. Manufacturers, in turn, demand greater cutting accuracy, reliability and maintainability, reduced product defects and cost-effectiveness.

When analyzing the designs of saws used, design and technological shortcomings in the operation of a hot-rolled saw were identified; therefore, further work is expedient to improve both the equipment for cutting rolled stock and the technology for cutting rolled stock.

Keywords. *Cutting, cutting, quality, reliability, productivity, sectional metal, saws, shortcomings.*

Стаття надійшла 15.03.2022 р.

УДК 621.791.92

doi.org/10.31498/2522-9990252023286602

Щербаков С. В., Черевко О. О.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ НАПЛАВКИ

Авторами запропоновано систему управління процесом електродугового наплавлення за двома ідентичними каналами, які містять регулятор і блок управління кроковим двигуном. Показано, що в системі керування доцільно використовувати крокові двигуни з функцією стеження за положенням валу для реалізації зворотного зв'язку. Інформація про його положення по кожному з каналів надходить на вхід регулюючого контролера для формування сигналів управління, пропорційних величині неузгодженості. Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для управління швидкістю обертання двигунів із застосуванням заданих алгоритмів переміщення легуючого електроду. З метою тестування програмного забезпечення та практичної реалізації моделі управління кроковими двигунами створено програмно-технічний комплекс. До складу комплексу входять: експериментальний стенд, персональний комп'ютер, програмований мікроконтролер, система управління. На базі програмованого мікроконтролера розроблено альтернативну схему управління біполярними кроковими двигунами постійного струму типу NEMA 17 (23) із застосуванням мостових силових драйверів. Програмування мікроконтролера здійснюється з використанням персонального комп'ютера. Формування сигналів управління приводами подачі електродів з різним вмістом легуючих елементів здійснюється програмно відповідно до заданого закону (функціональної залежності). Встановлено, що узгоджене управління всіма приводами установки дозволяє управляти процесом нанесення шару складної конфігурації та змінного

Машинобудування і зварювальне виробництво

хімічного складу. Це відкриває нові можливості підвищення ефективності модернізації існуючих наплавних установок.

Ключові слова. Електродугове наплавлення, наплавна установка, конфігурація наплавленого шару, змінний хімічний склад, система управління, кроковий двигун, широтно-імпульсна модуляція, експериментальна установка, програмне управління, інтегроване середовище розробки, контролер, персональний комп'ютер.

Постановка проблеми. Виготовлення та відновлення виробів шляхом формування швів складної форми зі змінним хімічним складом вимагає розробки системи управління процесом наплавлення. Відносно наплавної установки автоматизована система управління повинна забезпечувати узгоджену роботу приводів переміщення наплавного апарату та подачі електродів, обертання виробу, що наплавляється, а також можливість управління з реалізацією заданих алгоритмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При використанні блоків керування електроприводами наплавного апарату та обертання виробу, що забезпечують лише стабілізацію швидкості руху, можливе наплавлення суцільних шарів з валиків, які накладаються за спрощеними схемами: по гвинтовій лінії або за схемою «слалом». У цьому випадку початкова та кінцева точки кожного витка повинні виставлятися та контролюватися в ручному режимі [1, 2].

На відміну від цього, при нанесенні валиків під заданим кутом, а також із зазором між ними, синхронізація переміщення наплавного апарату та обертання виробу забезпечується за рахунок введення зворотного зв'язку. З цією метою від приводів потрібно отримувати інформацію про кут повороту, за допомогою якої можливо контролювати процес синхронізації [3]. З ускладненням технології наплавлення змінюються вимоги до системи управління. Найбільшою мірою вимоги до її функціональних характеристик зростають у разі, коли задача отримання наплавленого шару складної геометричної форми поєднується з необхідністю зміни його хімічного складу [4] або тепло- і масопереносу за заданим законом. Від здатності системи відповідати цим вимогам залежить результат роботи.

Мета дослідження. Метою роботи є розробка програмно-технічного комплексу, що забезпечує роботу наплавної установки згідно з обраною технологічною схемою.

Основний матеріал дослідження. При напавленні легуючими матеріалами фізико-хімічні властивості зварювального шва залежать від багатьох факторів, обумовлених типом використаних матеріалів та особливостями проведення технологічного процесу. Важливе значення має алгоритм подачі легуючого електроду, що реалізується шляхом використання математичного моделювання. Об'ємна швидкість подачі матеріалу розраховується відповідно багатьом законам управління. В основі цих законів є використання різних форм імпульсів подачі легуючого електроду, змінна швидкість, що має вплив на симетричність та градієнт розподілу легуючих елементів.

Залежність зміни концентрації $C(t)$ легуючого елемента від об'ємної швидкості подачі електроду та ступеня засвоєння описана за допомогою математичної моделі, адекватність якої підтверджено результатами проведеного дослідження [5]. Експерименти проводились при різних варіантах законів зміни швидкості об'ємної подачі легуючого електроду. Дана модель може успішно використовуватися в практиці прогнозування хімічного складу зварювального шва в реальному часі.

З метою тестування програмного забезпечення та практичної реалізації моделі управління кроковими двигунами створено програмно-технічний комплекс [5]. Функціонал програмного забезпечення дозволяє керувати електродом як у системі двох, так і трьох координат. В даній роботі зроблено акцент на реалізації переміщення електроду згідно з обраною траєкторією та швидкістю.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Базовим елементом експериментального стенду обрано кінематичну панель плотера Електроніка МС 6501. Основними конструктивними елементами панелі є два крокових двигуни з вернієрними механізмами та каретка (рис. 1).

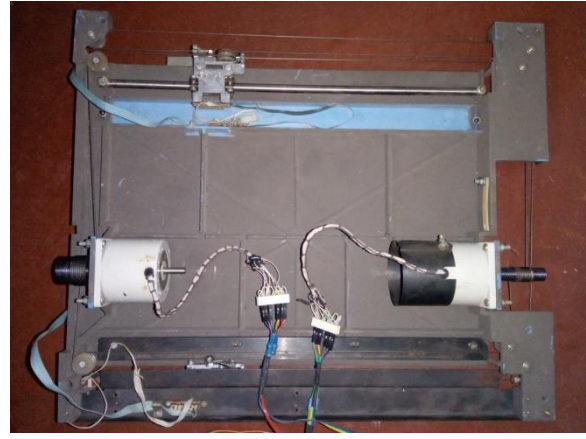
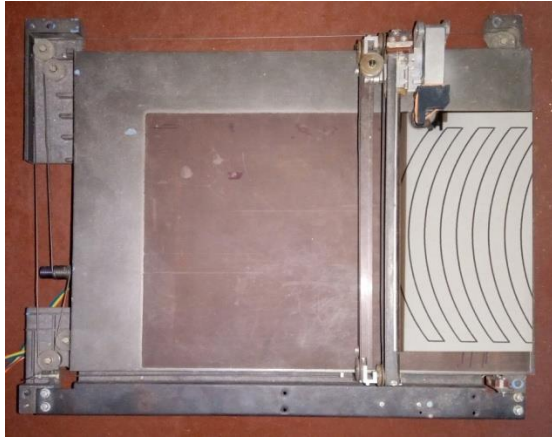


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд експериментальної установки

В якості електроприводів переміщення електроду застосовано біполярні крокові двигуни типу ДШ-200 з двома обмотками. Можливе використання інших типів електроприводів за умов відповідності заданим технічним характеристикам, наприклад, крокових двигунів стандарту NEMA 17 (23). На відміну від двигунів типу СЛ з обмоткою збудження, що використовуються в зварювальному виробництві, крокові двигуни мають низку необхідних функціональних можливостей:

- переміщення на задану кількість кроків у прямому та зворотному напрямку з регламентованим мінімальним кутом оберту;
- можливість плавної або дискретної зміни швидкості обертання;
- точність переміщення та стабільність швидкості;
- оптимальне співвідношення споживаної електричної потужності та обертаючого моменту;
- малі габаритні розміри та компактні електронні модулі керування.

Керуюча електронна складова експериментальної установки (рис. 2) розроблена спеціально для реалізації керування роботою крокових двигунів відповідно до розробленого програмного забезпечення [6].

В якості контролера обрано мікропроцесор ATmega328 у складі платформи програмування Arduino Uno. Сигнали фазованого керування формуються на дискретних виходах контролера та передаються на силові модулі управління кроковими двигунами для підсилення, узгодження та параметризації. Силові модулі (мостові драйвери) спроектовані на базі спеціалізованої мікросхеми L298N. Завдяки формуванню відповідного сигналу ШІМ на виході контролера силові модулі забезпечують необхідне значення струму в обмотках двигунів. Поточні параметри роботи експериментальної установки відображаються на текстовому дисплеї, підключеному до контролера за допомогою драйвера PCF8574.

Машинобудування і зварювальне виробництво

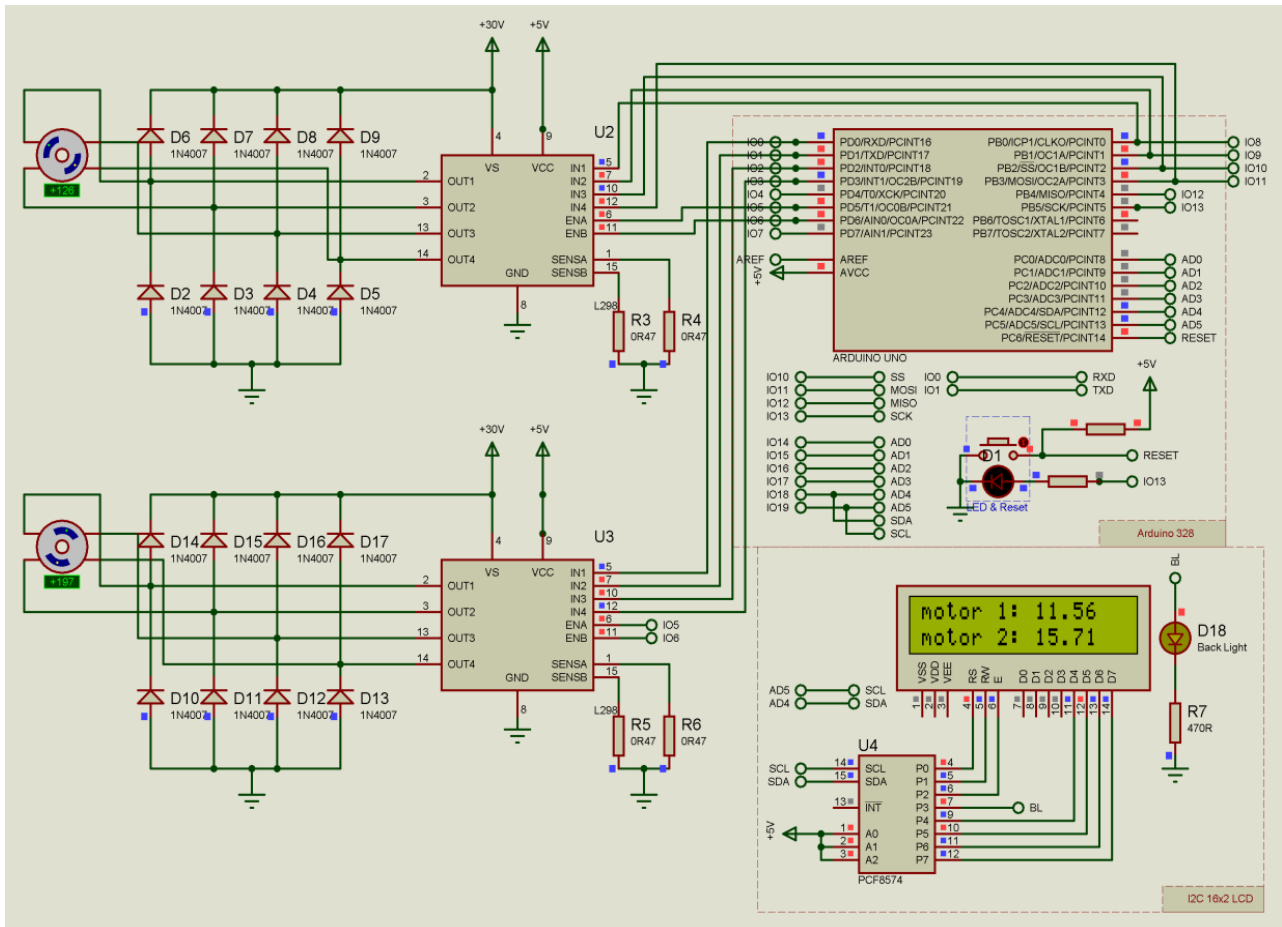


Рисунок 2 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Програмне забезпечення розроблено в середовищі IDE Arduino на мові Processing (C++). Інструментарій включає в себе редактор коду, компілятор і модуль передачі даних через USB інтерфейс. Після завантаження програми в контролер її виконання відбувається безпосередньо процесором в автономному режимі без необхідності подальшого використання середовища програмування та персонального комп'ютера.

Основними задачами розробленого програмного забезпечення є одночасне керування електроприводами по двох незалежних каналах та забезпечення необхідних режимів роботи, регламентованих базовими технічними характеристиками, такими як напруга, струм обмоток, номінальний обертаючий момент, температурний режим.

Для реалізації управління декількома електроприводами в програмному коді контролера використано спеціалізовану бібліотеку AccelStepper [7]. Бібліотека дозволяє керувати кроковими двигунами і, на відміну від стандартної бібліотеки Stepper IDE Arduino, має наступні переваги:

- підтримка прискорення та уповільнення;
- підтримка одночасної роботи декількох крокових двигунів із незалежною роботою;
- підтримка різних типів крокових двигунів та мікрокрокових режимів;
- підтримка малих швидкостей.

Підключення бібліотеки та ініціалізація обраних дискретних виходів контролера для двоканального керування обмотками двигунів з використанням Н-мостів здійснюється за допомогою інструкцій:

Машинобудування і зварювальне виробництво

```
#include <AccelStepper.h>
AccelSteppermystepper(n, pinA1, pinA2, pinB1, pinB2);
```

Лістинг 1 – Програмна ініціалізація крокового двигуна

Для ініціалізації кожного двигуна необхідно створити окремий об'єкт класу `AccelStepper` та передати в конструктор наступні параметри: `n` – кількість дискретних виходів контролера, задіяних у керуванні двигуном; `pinA1`, `pinA2`, `pinB1`, `pinB2` – номери фізичних дискретних виходів.

Технологічний процес наплавлення потребує керувати швидкістю та напрямом обертання валу крокового двигуна. Це реалізується за допомогою функцій `setSpeed()` і `move()`. Обертання валу на задану кількість кроків задається функцією `runSpeedToPosition()`:

```
mystepper.setSpeed(stepsPerSecond);
mystepper.move(distance);
mystepper.runSpeedToPosition();
```

Лістинг 2 – Управління швидкістю та позиціонуванням крокового двигуна

Параметр `stepsPerSecond` функції `setSpeed()` задає кількість кроків двигуна в секунду. Параметр `distance` функції `move()` може приймати позитивне або негативне ціле значення в залежності від напрямку обертання. Модуль цього параметру задає кількість кроків, яку має зробити вал двигуна. Якщо функція `move()` визивається з головного циклу `loop()`, що забезпечує безперервне виконання програмного коду контролера в реальному часі зі швидкодією процесора, параметру `distance` достатньо присвоїти абсолютне значення 1. Функція `runSpeedToPosition()` ініціює процес обертання зі встановленими параметрами.

Схемна реалізація силових модулів управління L298N виконана по типу Н-мосту для керування двонаправленими навантаженнями зі струмами до 2 А та напругами від 4,5 до 46 В. Для захисту вихідних каскадів від перенавантаження та перегріву необхідно підтримувати значення струму в обмотках двигунів, що не перевищують максимально допустимий поріг. Використання ШІМ дозволяє керувати вихідним струмом в імпульсному режимі, змінюючи його інтегральну складову завданням ширини та частоти генерації імпульсів. Для цього на входи ENA, ENB силових модулів керування для кожної обмотки з контролера подається відповідний сигнал. Виходи ШІМ контролера задаються та конфігуруються за допомогою інструкцій:

```
int enA = 6;
int enB = 9;
analogWrite(enA, n);
analogWrite(enB, n);
```

Лістинг 3 – Ініціалізація та параметризація виходів ШІМ контролера

Змінні `enA`, `enB` визначають номери фізичних виходів ШІМ контролера. Параметр `n` функції `analogWrite()` задає ширину імпульсів від 0 до 100 % від довжини періоду сигналу ШІМ.

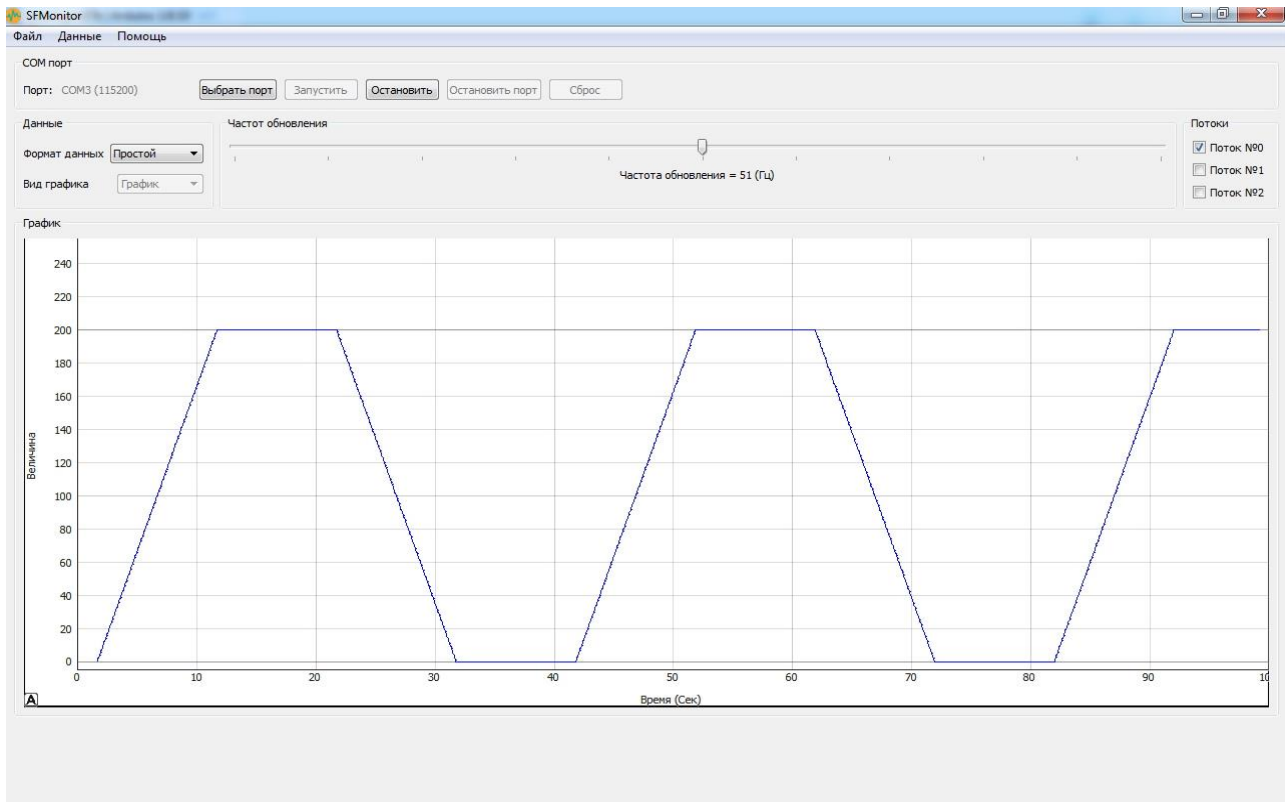


Рисунок 3 – Монитор даних послідовного інтерфейсу

В програмному коді передбачено використання послідовного інтерфейсу для відображення основних технологічних параметрів процесу: поточні координати електроду, графік зміни поточної швидкості обертання двигунів, напрям обертання, режими роботи та ін. (рис. 3). Дана функція можлива за наявності пристрою з підтримкою послідовної передачі даних, наприклад, персонального комп'ютера. Для організації передачі використано функції класу `Serial: Serial.begin(speed)` та `Serial.write(val)`, де параметр `speed` – бітова швидкість, параметр `val` – рядкова або числова змінна процесу.

Підпрограми з реалізацією алгоритмів керування кроковими двигунами для переміщення легуючого електроду в відповідності з заданою траєкторією та швидкістю визиваються з основного циклу `loop()` програмного коду. На лістингу 4 представлено узагальнений код програми для з'ясування структури та логіки виконання.

```
#include <AccelStepper.h>
intena_Y = 6;
intena_B_Y = 9;

intena_X = 3;
intena_B_X = 5;

AccelStepperstepper_Y (4,10,11,12,13);
AccelStepperstepper_X(4,2,4,7,8);

//Реалізація алгоритмів керування кроковими двигунами на базі
бібліотечних функцій setSpeed(), move(), runSpeedToPosition()
```

```
void setup()
{
  stepper_X.setMaxSpeed(1000);
  stepper_Y.setMaxSpeed(1000);

  pinMode(enA_X, OUTPUT);
  pinMode(enB_X, OUTPUT);

  pinMode(enA_Y, OUTPUT);
  pinMode(enB_Y, OUTPUT);
}

void loop()
{
  // Виклик функцій керування кроковими двигунами
}
```

Лістинг 4 – Узагальнений код програми

В матеріалі [8] наведено повнофункціональну програмну реалізацію та відповідну технічну документацію.

За допомогою розробленого програмного забезпечення здійснюється незалежне керування швидкістю обертання двигунів відповідно до заданого алгоритму. Алгоритми реалізовані у вигляді підпрограм, що викликаються з основного програмного циклу контролера. При необхідності для кожного двигуна можливий вибір закону зміни швидкості з завданням граничних значень, а також величини прискорення та напрямку обертання.

ВИСНОВКИ

Використання спеціалізованого програмного забезпечення у складі системи управління наплавною установкою дає можливість реалізувати широкий спектр технологічних варіантів наплавлення.

Розроблений програмно-технічний комплекс керування подачею легуючого електроду дозволяє реалізувати технології наплавлення різної складності без необхідності використання унікальних та складних функціональних схем управління.

Доцільність застосування програмного забезпечення основана на моделі прогнозування хімічного складу зварювального шва в реальному часі та може використовуватися для практичної реалізації технології наплавлення легуючих матеріалів з регламентованим розподілом властивостей.

Список використаних джерел:

1. *Крылов С.В.* Установка АДФ-1000 для дуговой наплавки / *С.В. Крылов* // Сварка и металлоконструкции. – 2017. – № 2 (12). – С. 19 – 22.
2. *Vozyanov E.I.* Improvement in operating efficiency of continuous casting machine slab rolls / *E.I. Vozyanov, O.V. Korobka, O.V. Karaulanov, L.K. Leshchinskii, V.N. Matvienko* // Metallurgist. – 2018. – Vol. 62 (7–8). – Pp. 681-685. – Mode of access: DOI: 10.1007/s11015-018-0708-9.

Машинобудування і зварювальне виробництво

3. *Лещинский Л.К.* Разработка технологии наплавки для увеличения ресурса роликов машин непрерывного литья заготовок / *Л.К. Лещинский, В.Н. Матвиенко, В.П. Иванов, Е.И. Возьянов, О.В. Карауланов* // Технология машиностроения. – 2019. – № 7. – С. 19 – 23.

4. Пат. 124035 Україна, МПК В 23 К 9/04. Спосіб наплавлення шару змінного хімічного складу / *Л.К. Лещинський, В.П. Иванов.* – № u201711596; заявл. 27.11.17; опубл. 12.03.18, Бюл. № 5.

5. *Иванов В. П.* Моделювання технології наплавлення зносостійкого шару змінного хімічного складу/ *В. П. Иванов, Л. К. Лещинський, С. В. Щербаков* // Автоматичне зварювання / НАН України, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, МА «Зварювання». – Київ, 2019. – № 11. – С. 40 – 45.

6. *Иванов В. П.* Разработка системы автоматизированного управления процессом электродуговой наплавки с применением широтно-импульсной модуляции / *В. П. Иванов, С. В. Щербаков, Л. К. Лещинский* // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Вип. 38. – С. 104 – 110. – (Серія: Технічні науки)

7. AccelStepper: AccelStepper library for Arduino [Электронный ресурс]: [Сайт]. – Режим доступу: <http://www.airspayce.com/mikem/arduino/AccelStepper/>.

8. Свідоцтво 91423 Україна про реєстрацію авторського права на службовий твір Комп'ютерна програма «Імітаційна модель програмного керування швидкістю обертання двигунів із застосуванням широтно-імпульсної модуляції» / *Иванов В.П., Щербаков С.В.* (Україна); заявник та власник *Иванов В.П.* – № 93272; заявл. 17.07.2019; зареєстровано 08.08.2019 в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

Щербаков С. В., Черевко О. О.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ НАПЛАВКИ

Авторами предложена система управления процессом электродуговой наплавки по двум идентичным каналам, включающим регулятор и блок управления шаговым двигателем. Показано, что в системе управления целесообразно использовать шаговые двигатели с функцией слежения за положением вала для реализации обратной связи. Информация о его положении по каждому из каналов поступает на вход регулирующего контроллера для формирования сигналов управления, пропорциональных величине несогласованности. Разработано специализированное программное обеспечение для управления скоростью вращения двигателей с применением заданных алгоритмов перемещения легирующего электрода. С целью тестирования программного обеспечения и практической реализации модели управления шаговыми двигателями создан программно-технический комплекс. В состав комплекса входят: экспериментальный стенд, персональный компьютер, программируемый микроконтроллер, система управления. На базе программируемого микроконтроллера разработана альтернативная схема управления биполярными шаговыми двигателями постоянного тока типа NEMA 17 (23) с применением мостовых силовых драйверов. Программирование микроконтроллера осуществляется с использованием персонального компьютера. Формирование сигналов управления приводами подачи электродов с разным содержанием легирующих элементов реализуется с помощью программы в соответствии с заданным законом (функциональной зависимостью). Установлено, что согласованное управление всеми приводами установки позволяет управлять процессом нанесения слоя сложной конфигурации и переменного химического

Машинобудування і зварювальне виробництво

состава. Это открывает новые возможности повышения эффективности модернизации существующих наплавочных установок.

Ключевые слова. Электродуговая наплавка, наплавочная установка, конфигурация наплавленного слоя, переменный химический состав, система управления, шаговый двигатель, широтно-импульсная модуляция, экспериментальная установка, программное управление, интегрированная среда разработки, контроллер, персональный компьютер.

Shcherbakov S. V., Cherevko O. O.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND HARDWARE TO CONTROL THE PROCESS OF AN AUTOMATED WELDING (SURFACING)

The authors proposed a system for controlling the process of electric arc surfacing through two identical channels, including a regulator and a stepper motor control unit. It is shown that in the control system it is advisable to use stepper motors with the function of tracking the position of the shaft to implement feedback. Information about its position for each of the channels is fed to the input of the regulating controller for the formation of control signals proportional to the magnitude of the inconsistency. Specialized software has been developed for controlling the speed of rotation of engines using specified algorithms for moving the alloying electrode. For the purpose of software testing and practical implementation of the stepper motor control model, a software and hardware complex has been created. The complex includes experimental stand, personal computer, programmable microcontroller, control system. Based on a programmable microcontroller, an alternative control circuit for bipolar DC stepper motors of the NEMA 17 (23) type using bridge power drivers has been developed. Programming of the microcontroller is carried out using a personal computer. The formation of control signals for the drives for supplying electrodes with different content of alloying elements is implemented using a program in accordance with a given law (functional dependence). It has been established that the coordinated control of all drives of the installation makes it possible to control the process of formation of a layer of complex configuration and variable chemical composition. This opens up new opportunities for improving the efficiency of the modernization of existing surfacing installations.

Keywords. Electric arc surfacing, surfacing installation, layer configuration, variable chemical composition, control system, stepper motor, pulse-width modulation, experimental stand, software control, integrated development environment, controller, personal computer.

Стаття надійшла 20.04.2022 р.

УДК 669.162.22

doi.org/10.31498/2522-9990252023286611

Черевко О.О., Щербаків С.В.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПЕРАТИВНОГО КОРИГУВАННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЗРОШЕННЯ У СЕКЦІЯХ ЗОНИ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ МБЛЗ

Вирішення проблем із якістю слябів, виготовлених в умовах МБЛЗ, пов'язане з налагодженням і оптимізацією роботи системи автоматичного охолодження в секціях ЗВО та коригуванням роботи технологічного обладнання. В даний час розрахунок оптимальних витрат води на секції зон вторинного охолодження є важким завданням, що вирішується впровадженням комплексних підходів – від експериментальних досліджень та