

УДК 621.391.83

В.А. Бісюк, викл., М.С. Мірошніченко, доц., канд. техн. наук, Л.В. Рыбакова, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Програмне та апаратне забезпечення для автоматизації процесів керування індукційним наплавленням композиційних покриттів

Розглянуто характер змін технологічних параметрів процесу індукційного наплавлення композиційних покриттів для зміцнення робочих поверхонь деталей машин.

Розроблено діаграму процесів роботи АСК технологічним процесом індукційного наплавлення на базі програмованого мікроконтролера та алгоритм роботи програмного забезпечення АСК.
індукційне наплавлення, композиційне покриття, взаємозалежність технологічних параметрів, програмне забезпечення

В.А. Бисюк, викл., М.С. Мирошниченко, доц., канд. техн. наук, Л.В. Рыбакова, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Програмное и апаратне забезпечення для автоматизації процесів керування індукційним наплавленням композиційних покриттів

Рассмотрен характер изменений технологических параметров процесса индукционной наплавки композиционных покрытий для укрепления рабочих поверхностей деталей машин.

Разработана диаграмма процессов работы АСУ технологическим процессом индукционной наплавки на базе программируемого микроконтроллера и алгоритм работы программного обеспечения АСУ.

индукционная наплавка, композиционное покрытие, взаимозависимость технологических параметров, программное управление

При виготовленні та відновленні деталей машин (сільськогосподарської техніки, залізнодорожної техніки, водного транспорту тощо) широко використовуються різні способи наплавлення зміцнювальних композиційних покриттів (КП) [1,2].

При наплавленні відбувається сплавлення шару КП з основним металом деталі, що забезпечує їхнє міцне зчеплення. Найменша товщина наплавленого металу може бути 0,25мм, найбільша не обмежена.

Способи наплавлення класифікують за трьома типами ознак (ГОСТ 19621 – 74): фізичним, технічним і технологічним.

За фізичними ознаками можна розділити на три групи:

- 1) термічні (електродугова, електрошлакова, плазмова, електро-променева, лазерна, індукційна, газова, іонна);
- 2) термохімічна (контактна, прокаткою, екструзією);
- 3) механічні (вибухом, тертям).

За технічними ознаками поділяють у залежності від способу захисту металу в зоні наплавлення, від ступеня механізації процесу, автоматизації, безперервності і т.д.

За технологічними ознаками поділяють в залежності від роду струму, кількості електродів, наявності зовнішнього впливу і т.д.

На ремонтних підприємствах наплавлення складає 77 % від загального ремонту робіт з нанесення покриттів.

Індукційне наплавлення (ІН) є одним з найбільш широко застосовуваним способом, через високу продуктивність та простоту технологічного обладнання, але потрібно зазначити, що складний нелінійний характер протікання процесу ІН значно ускладнює його автоматизацію.

Відомо, що при нагріванні сталі змінюються її питомий опір і магнітна проникність [2,3].

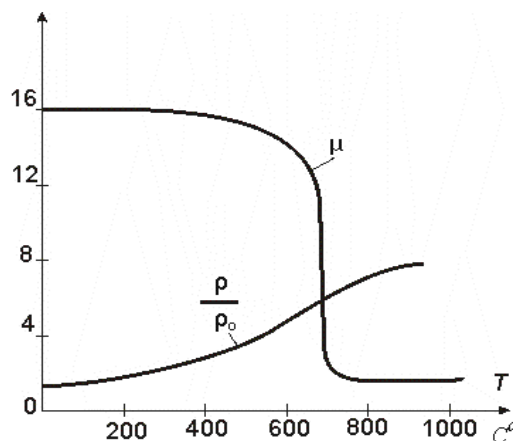


Рисунок 1 - Залежність відносної магнітної проникності і питомого опору від температури для середньовуглецевої сталі

Магнітна проникність сталей слабо залежить від температури до 650...700 С. Після чого швидко зменшується і досягає значення, приблизно рівного проникності вакууму, як показано на рис. 1. У наближених розрахунках зазвичай вважається, що вона падає стрибком до $\mu = 1$ в точці магнітних перетворень (точці Кюрі), приблизно відповідній температурі 750...770 °С. На рис. 1 початкове значення магнітної проникності прийнято рівним 16, що пояснюється застосуванням при індукційному нагріванні вельми сильних магнітних полів. Часто її початкове значення складає 5...6.

Залежність питомого опору від температури для сталі з вмістом вуглецю 0,4...0,5 % приведена на тому ж рис. 1. З кривої видно, що в проміжку 15...800°C питомий опір зростає приблизно в 5 разів. Надалі зростання питомого опору сповільнюється, причому значення його для різних сортів сталі стають майже рівними. В середньому можна прийняти, що в інтервалі температур 800 - 900 °С питомий опір рівний 10 Ом•м. В результаті падіння магнітної проникності і зростання питомого опору в процесі нагрівання глибина проникнення струму зростає в 8...10 разів. Для визначення глибини проникнення струму в сталь, нагріту вище за точку магнітних перетворень, можна написати просту формулу, з урахуванням значення $\rho = \rho_k = 10^{-6}$ Ом•м и $\mu = 1$ [3].

Тоді

$$\Delta_K \approx 0,5/\sqrt{f}, \quad (1)$$

де f – частота струму поданого на індуктор.

Індекс K указує, що значення відповідних величин відносяться до температури, що перевищує точку магнітних перетворень. Глибину проникнення струму в цьому випадку називатимемо гарячою глибиною проникнення струму.

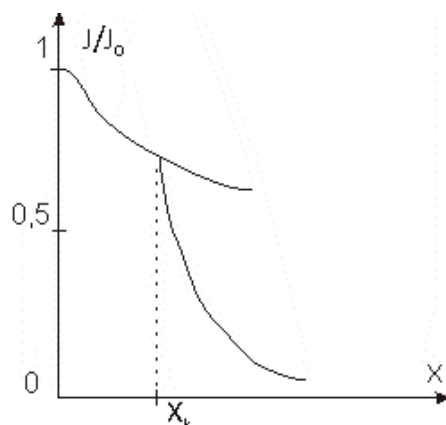


Рисунок 2 – Розподіл щільності струму в сталевій деталі, нагрітої вище за точку магнітних перетворень на глибину

При нагріванні сталь втрачає магнітні властивості, прогриваючись поступово, від шару до шару, від поверхні углиб. Розподіл щільності струму, змінюється, а метал стає як би двошаровим. При якісному розгляді можна вважати, що розподіл щільності струму зобразиться ламаною лінією, що складається з відрізків двох експонент, перша з яких відповідає сталі, нагрітої вище точки магнітних перетворень (рис. 2 та 3), а друга - сталі, що володіє магнітними властивостями. Встановлено, що крива для зовнішнього шару йде пологіше із-за часткового віддзеркалення проникаючої в метал електромагнітної хвилі від межі розділу шарів.

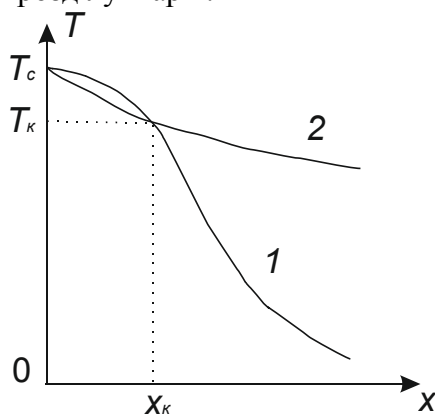


Рисунок 3 – Розподіл температури по перетину деталі при індукційному нагріванні

Злам кривої яскраво виражений, якщо глибина прогрітого шару x_k менше Δ_k . В цьому випадку виділення енергії в шарі x_k найбільш рівномірно, унаслідок чого нагрівання відбувається швидко, без великого перепаду температури в шарі, що нагрівається, і з малими тепловими втратами на нагрів серцевини.

На рис. 3 представлений розподіл температури при нагріванні підповерхневих шарів на глибину x_k . Крива 1 відповідає режиму $x_k < \Delta_k$, який називають глибинним, оскільки теплота виділяється по всій глибині шару x_k . Крива 2 відповідає випадку $x_k > \Delta_k$. Тут основну роль грає теплопровідність, так само, як і при нагріванні зовнішніми джерелами тепла, наприклад в соляній ванні або печі опору. Такий тип нагрівання називається чисто поверхневим. Він характеризується більшими втратами на витік тепла в глиб об'єкту, що нагрівається, чим глибинний. Час нагрівання при тому ж перепаді температури в шарі, що нагрівається, різко збільшується і стає таким же, як при нагріванні із зовнішніми джерелами тепла. Цей тип нагрівання є не вигідним.

Зміна властивостей сталі із зростанням температури викликає також значну зміну еквівалентних параметрів індуктора. Повний електричний опір індуктора [1]

$$Z_{II} = r_1 + r_2' + j(x_s + x_{m2}') = r_{II} + jx_{II} \quad (2)$$

Активний опір r_1 , а для довгого індуктора і індуктивний опір розсіяння x_s не залежать від фізичних властивостей об'єкту, що нагрівається. Проте опори r_2' і x_{m2}' об'єкту, що нагрівається, істотно залежать від його питомого опору ρ_2 і відносній магнітній проникності μ , що зазнають значні зміни в процесі нагрівання.

Крім того при використанні різних композиційних сумішей, що наплавляються необхідно враховувати їх технологічні особливості. Так, наприклад, іноді доцільно виконувати попереднє нагрівання деталі і нанесення проміжних шарів.

Попередній підігрів застосовують для попередження можливості утворення тріщин (дефектів) у наплавленому шарі або зоні сплавлення, а нанесення проміжного шару обумовлено не тільки виключенням утворення дефекту, але в ряді випадків зменшенням дорогого матеріалу, що наплавляється.

Автоматизацію процесів індукційного нагрівання та наплавлення (ІНН) раніше стримувала неможливість достатньо швидкого та точного вимірювання технологічних параметрів процесу, які можуть стрибкоподібно змінюватись в досить широких межах (температура наплавлення близько 1100-1200 °С), коли часовий інтервал між керуючими впливами повинен становити менше мілісекунди.

Сучасний ступінь розвитку мікроелектроніки і поява нових засобів для розробки програмного забезпечення (компілятори мов високого рівня для мікроконтролерів), дозволяє розробити комп'ютеризовані автоматичні системи керування процесами ІН, автоматизація яких раніше вважалася економічно недоцільною або технічно нездійсненною.

Відповідно стає актуальною проблема розробки автоматичної системи керування (АСК) процесами індукційного наплавлення та відповідного програмного забезпечення які дозволять підвищити якість продукції та ефективність витрат енергії та матеріалів.

Метою даної роботи є аналіз технологічного процесу індукційного наплавлення струмом високої частоти (СВЧ) та виявлення можливостей вдосконалення, шляхом створення програмно-технічних засобів, які дозволять детально контролювати всі етапи процесу наплавлення, та достатньо оперативно змінювати параметри виробничого процесу (напрягу на індукторі, частоти струму, температуру поверхні деталі і т. інш.).

Виклад основного матеріалу

Механізми виділення і передачі тепла при індукційному наплавленні та взаємозалежність технологічних параметрів було розглянуто і визначено в роботі [4] в ній також було визначено, що в якості факторів, які впливають на протікання процесу використовують потужність нагрівання і частоту струму на індукторі.

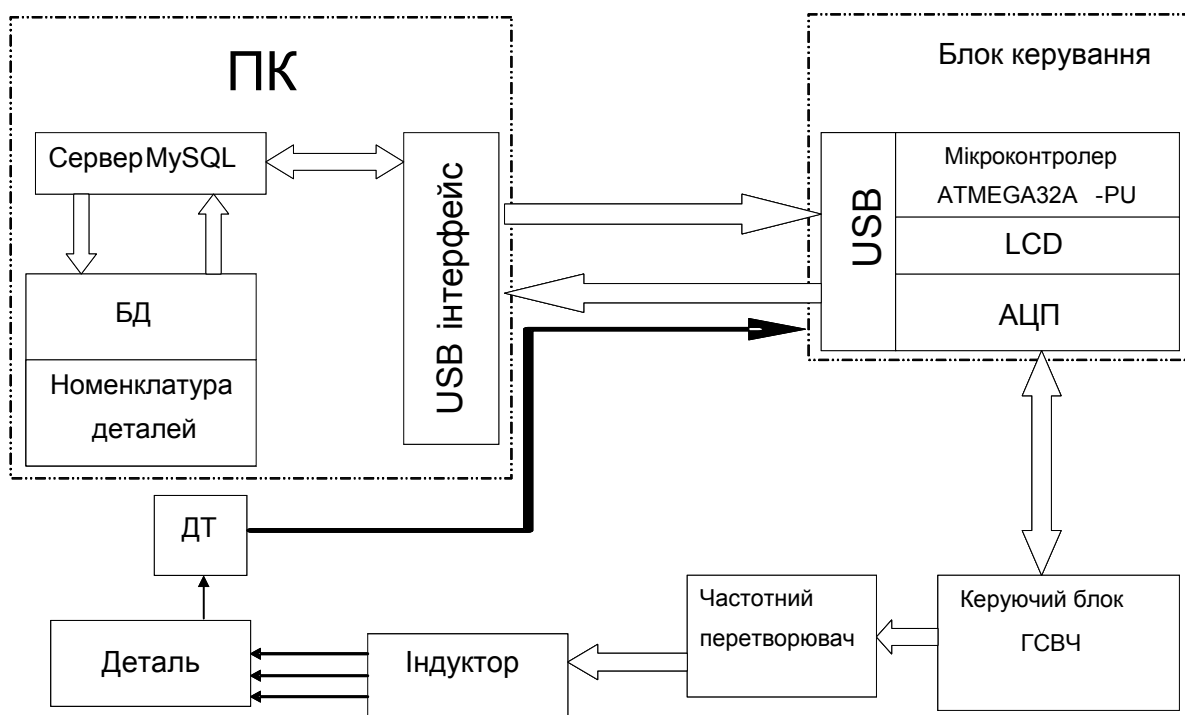


Рисунок 4 – Схема апаратного забезпечення АСК процесу ІН

Для забезпечення можливості керування технологічними параметрами процесу ІН запропоновано (рис. 4) апаратне забезпечення АСК до якого входять:

- комп'ютер на якому знаходиться програмне забезпечення для загального керування АСК;
- блок керування на базі мікроконтролеру ATMEGA32A-PU;
- блок керування генератором струму високої частоти (ГСВЧ);
- частотний перетворювач;
- індуктор;
- безконтактні датчики температури (лазерні або інфрачервоні).

Дана архітектура апаратного забезпечення АСК, при якій задачі загального керування та збереження даних покладено на більш потужний ПК, а безпосереднє керування технологічним обладнанням виконує підсистема на основі мікроконтролеру ATMEGA32A-PU надасть можливість використати сучасні засоби розробки програмного забезпечення для керування технологічним процесом наплавлення КП.

Використання USB-інтерфейсу для з'єднання апаратних підсистем та датчиків температури дозволить уніфікувати доступ та протоколи передачі даних в АСК і забезпечить можливість швидкої заміни обладнання.

На основі аналізу особливостей протікання процесу ІН та взаємозалежностей технологічних параметрів процесу розроблено діаграму процесів роботи АСК процесу ІН (рис.5), яка відображає взаємозв'язок та порядок виконання процесів в системі.

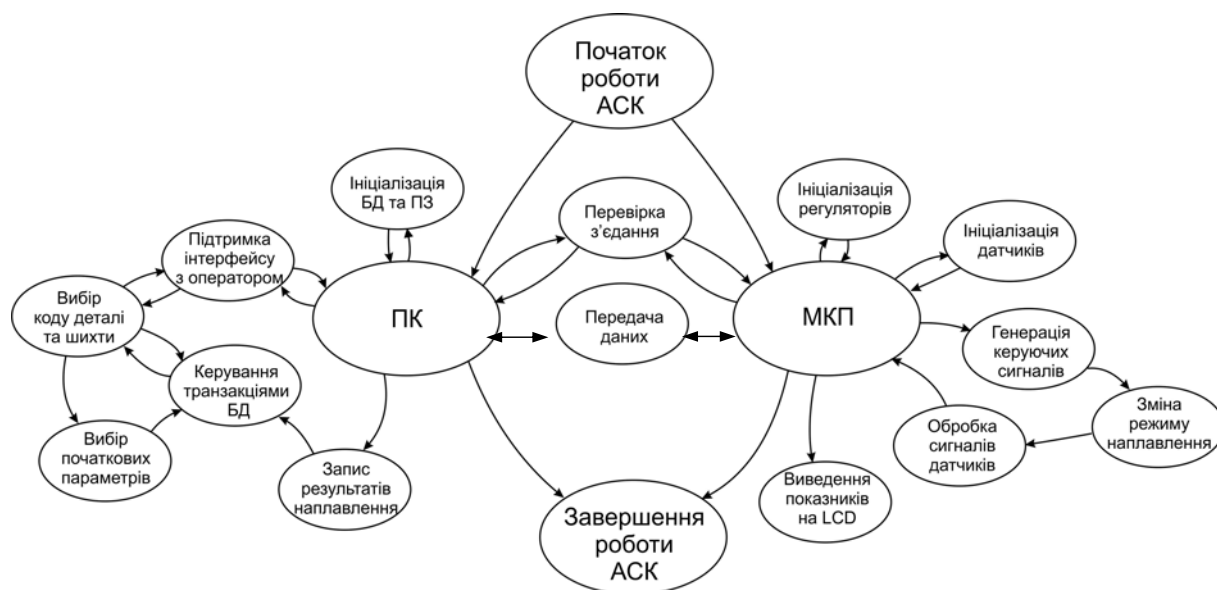


Рисунок 5 – Діаграма процесів роботи АСК процесу ІН

Процеси, що виконуються в системі можна умовно розділити на дві частини:

1) Процеси в підсистемі мікроконтролерного керуючого пристрою (МКП). Тут виконується безпосередній розрахунок, формування та передача керуючих сигналів в регулятори системи, прийом вимірювальних сигналів від датчиків, забезпечується автономний сталий режим роботи при відключенні ПК.

2) Процеси в комп'ютерній підсистемі. Забезпечується взаємодія з базою даних (містить мінімально необхідні та максимально допустимі межі змін технологічних параметрів, що відповідають обраній номенклатурі деталі та складу суміші для наплавлення), виконується збереження проміжних та кінцевих результатів процесу для подальшої обробки.

Для початкового налаштування системи чи ручного керування процесом забезпечується графічний інтерфейс для оператора системи (тільки при підключенні ПК), в автономному режимі роботи мікроконтролера на LCD-екран МКП виводиться поточна температура поверхні деталі та поточна напруга ГСВЧ.

Відповідно до функціональної схеми АСК процесом ІН викладеній в роботі [2] та діаграми процесів (рис.5) запропоновано схему алгоритму роботи АСК процесу ІН (рис. 6), який надасть можливість керувати системою з достатньою ефективністю і швидкістю.

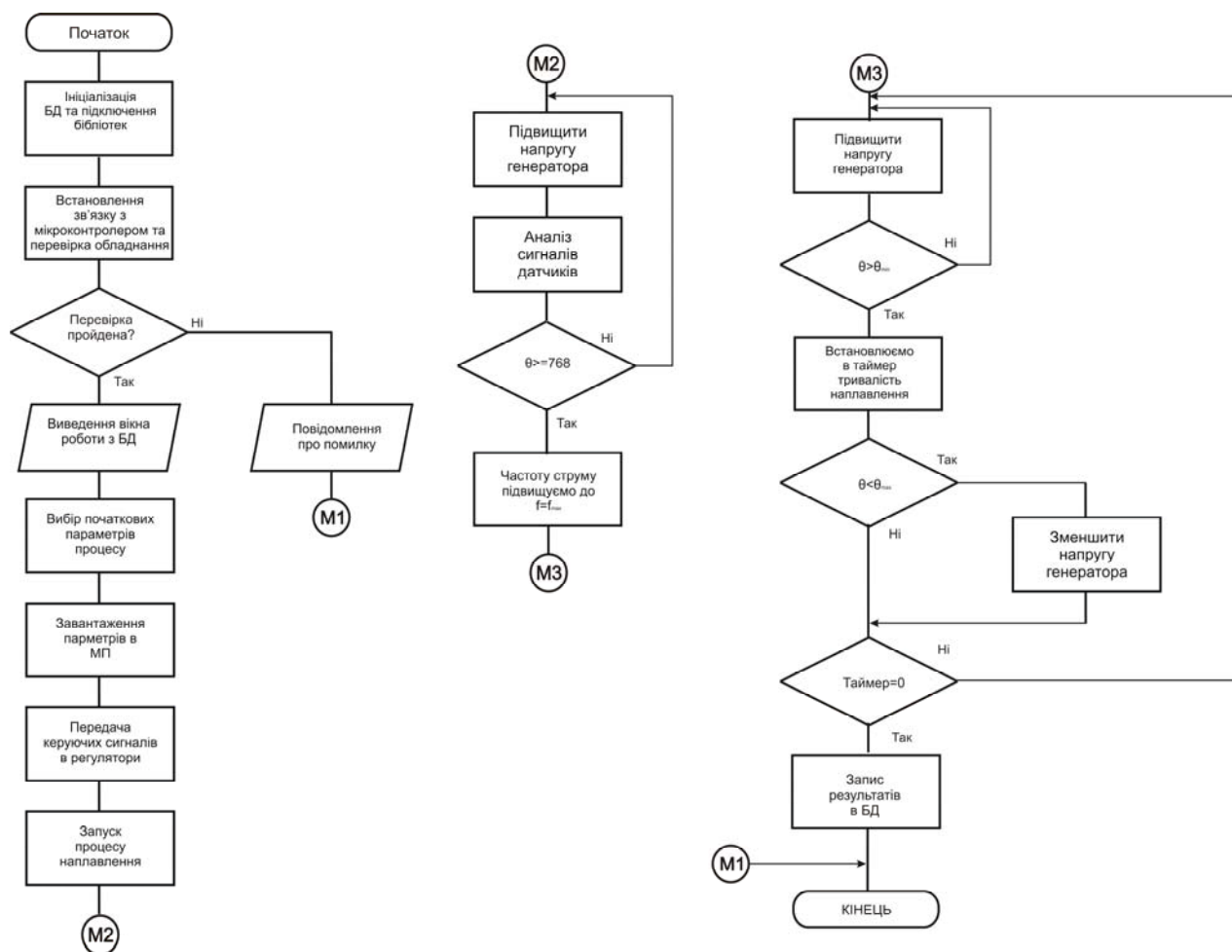


Рисунок 6 – Схема алгоритму роботи АСК процесу ІН

При виникненні програмної помилки чи збою апаратного забезпечення під час діагностичної перевірки системи на екран МКП виводиться повідомлення “ERR”, а на екран ПК код помилки, оператор повинен прийняти рішення про зупинку процесу, перезапуск чи виправлення помилки. Передача керуючих сигналів в регулятори забезпечується МКП через цифро-аналогові перетворювачі чи USB-інтерфейс. Таймер МКП дасть змогу синхронізувати роботи системи відповідно до тактової частоти мікроконтролеру.

АСК що працює за вказаним алгоритмом враховує складний характер зміни технологічних параметрів процесу та зміни властивостей матеріалів деталей і КП під час наплавлення, дозволить швидко пристосовувати АСК до змін в номенклатурі деталей чи КП.

Проведені дослідження процесів ІН показали, що складний нелінійний характер протікання процесу наплавлення вимагає розробки і впровадження нових програмних та технічних засобів для автоматизації процесу індукційного наплавлення.

Запропоновано схему апаратного забезпечення, діаграму процесів та схему алгоритму для програмно керованої АСК технологічним процесом індукційного наплавлення, яка дозволить підвищити продуктивність та якість процесу ІН.

Список літератури

1. Сидоров А.М. /Восстановление деталей машин напылением и наплавкой/. - М.: Машиностроение, 1987. - 190 с.
2. Аулін В.В. /Керування та моніторинг процесів приготування композиційних матеріалів та нанесення композиційних покриттів на деталі машин/ Аулін В.В, Віхрова Л.Г., Бісюк В.А., Бобрицький В.М.; //Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства./ Вип. 37. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Том 2. – Харків. – 2005.- С.174-178.
3. Новгородцев А.Б. /Теория электромагнитного поля/ Новгородцев А.Б.// С.Пб.: Изд. СПбГТУ, 1995. – 222с.
4. Бісюк В.А./ Програмне забезпечення АСК процесу індукційного нагрівання і наплавлення композиційних покриттів/ Бісюк В.А. //Збірник наукових праць “Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація”– вип. 26/. – Кіровоград: КНТУ, 2013.- С. 284-290.

Viktor Bisuk, Mariy Vihrova, Ludmila Ribakova

Kirovograd National Technical University

Software and hardware for automation process control induction welding of composite coatings

Induction welding is one of the most widely used method, due to the high performance and ease of processing equipment, but it should be noted that the complex nonlinear nature of the process complicates its automation. The aim of this work is to study the properties of the process of induction heating parts and applying composite coatings and capacity development and implementation of ACS with the appropriate software.

The current stage of development of microelectronics and the emergence of new tools for software development (high-level language compilers for microcontrollers), allows to develop computerized automatic control system processes ETC automation previously considered uneconomical or technically unfeasible.

According become an urgent problem of developing an automatic control system (ACS) induction welding processes and associated software that will improve the quality and cost-effectiveness of energy and materials.

Studies have shown processes INN factors influencing the flow of welding process, found their interdependence. Definitely more control over the parameters that significantly affect the quality of the parts. Software-driven ACS induction welding process based programmable microcontroller system enables dynamically (without stopping the process) managed to change the settings and save information about the process for monitoring and further processing.

Past studies of processes showed that complex non-linear character of the deposition process requires the development and implementation of new software and hardware to automate the induction welding.

The scheme of hardware, processes and circuit diagram of the algorithm for software-driven ASA induction welding process, which will improve the performance and quality of induction welding process.

induction welding, composite coating, process parameters interdependence, software

Одержано 12.05.14