

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 66-933.6

Є. О. Хребтов^{1,2}**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
ТЕМПЕРАТУРИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО
ВІДПАЛУ ДРОТУ**¹Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;²Державне підприємство «Інженерний центр твердих сплавів «Світкермет»

На сьогодні актуальним є питання підвищення якості сталевих зварювальних дротів в процесі виробництва. Перевага застосування прямого електроконтактного нагрівання обґрунтована можливістю побудови і реалізації системи автоматичного регулювання температури нагріву. Система управління виконана на базі ПІД-регулятора, регулятора потужності, джерела струму і вимірювального пірометричного комплексу Апір-С, що складається з первинного пірометричного перетворювача та вторинного перетворювача. Встановлюючи відповідні параметри ПІД-регулятора, можна забезпечити стійкість робочого режиму з автоматичним регулюванням температури під час електроконтактного нагрівання дроту. Експериментально встановлено, що застосовуючи систему керування температурою відпалу, за рахунок контролю пірометром температури нагріву помилка регулювання не перевищувала 1,3 %. Дотримання температури відпалу в заданому діапазоні забезпечує стабільність механічних характеристик дроту. Прийняті рішення реалізації запропонованої системи характеризуються зручністю експлуатації, надійністю і забезпеченням якості технологічного процесу. Подальший напрям досліджень полягає в обґрунтуванні необхідності використання процесу контрольованого охолодження для отримання заданих фізико-механічних параметрів відпаленого дроту.

Ключові слова: відпал, сталевий зварювальний дріт, система керування, ПІД-регулятор, пірометричний комплекс.

Вступ

Аналіз операції відпалу сталевих дротів показує, що для отримання необхідних фізико-механічних параметрів дроту важливі не тільки умови режиму відпалу, а також і спосіб його реалізації [1—5]. Можна відмітити переваги застосування прямого електроконтактного нагрівання (ЕН), що дозволяє безпосередньо формувати показники якості дроту під час відпалу, автоматизацію процесу, а також промислової гнучкості при управлінні технологічною установкою. Автоматизація процесу нагрівання дроту дозволяє забезпечити сталість термічного впливу, а разом з цим і необхідну стабільність механічних характеристик дроту, що також є обов'язковим критерієм якості продукції [6]. Реалізація електроконтактного відпалу, в процесі виробництва зварювального дроту, ускладнена через відсутність необхідного обладнання на вітчизняному ринку. Для вирішення цього завдання необхідно розробити нові технологічні пропозиції на базі сучасного обладнання з умовою реалій промислового виробництва. Одним із завдань розробки такого обладнання є побудова і реалізація системи автоматичного регулювання температури нагріву. З урахуванням наявної економічної ситуації на промислових об'єктах країни ця система має поєднувати простоту конструкції, надійність та ефективність застосування.

Метою роботи є створення системи автоматичного регулювання температури для поліпшення якості дроту, що піддався відпалу, а саме, показники межі міцності та відносного видовження дроту по закінченню процесу відпалу.

Результати дослідження

Вимоги до структури та комплектуючих системи автоматичного керування (САК) температури висуваються відповідно до параметрів технологічного процесу. Основним критерієм є значення

діаметра дроту, що формує значення струму необхідного для нагрівання [2]. Також під час вимірювання температури величина діаметра визначає необхідне значення показника візуалізації пірометра. Цей параметр характеризує можливість вимірювання температури дроту необхідного діаметра і формує значення відстані від точки, що вимірюється, до вимірювального приладу (пірометра). Завдання, що ставиться, відноситься для дроту діаметром 2 мм. Показник візування вибраного пірометричного комплексу 1:50.

Параметр швидкості відпалу, взаємопов'язаний зі значенням сили струму у разі ЕН, а також висуває певні вимоги до швидкодії системи. Час спрацювання САК повинен співвідноситися з часовими показниками теплових процесів у сталевому дроті для забезпечення стійкого режиму роботи системи. Встановлено, що швидкість відпалу має складати 0,5...1,2 м/с.

Діапазон температури відпалу визначає необхідну потужність джерела струму, та параметри комутуючого устаткування. За раніше проведеними експериментальними дослідженнями з ручним регулюванням температури визначено, що для отримання необхідних механічних властивостей дроту температура відпалу має становити 530...570 °С.

Відповідно до цих вимог розроблено САК температури, що застосовується в процесі електроконтактного відпалу дроту.

Впроваджена система автоматичного регулювання складається з таких основних виконавчих елементів: пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПІД-регулятор), регулятор потужності, первинний пірометричний перетворювач, вторинний перетворювач та джерело струму.

Структурна схема системи автоматичного регулювання показана на рис. 1. Регулятор потужності встановлюється в первинній обмотці джерела струму (трансформатора), пірометр монтується з умовою неможливості коливань вимірювального приладу відносно вимірюваної точки (в іншому випадку система не забезпечує стійкий режим роботи) і підключається до ПІД-регулятора, вихід якого з'єднаний з регулятором потужності.

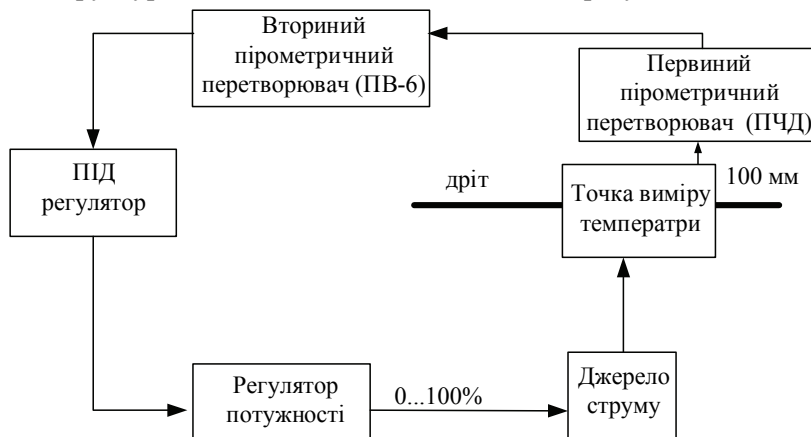


Рис. 1. Структурна схема розробленої САК температури для електроконтактного відпалу дроту

ПІД-регулятора, вихід якого з'єднаний з регулятором потужності. Параметри ПІД-регулятора задаються відповідно до забезпечення стійкості заданого режиму роботи, після чого запускається процес електроконтактного на-

грівання дроту з автоматичним регулюванням заданого значення температури.

Впровадження САК показало, що основним зовнішнім впливом на рівновагу досліджуваної системи є зміна швидкості проходження дроту через електроконтактні роликів, за рахунок намотування вже відпаленого дроту на барабан, що збільшує діаметр барабану та відповідно змінює час проходження струму через зону нагрівання. У процесі відпалювання можливе локальне зтягування дроту (незначне зменшення діаметра), що також приводить до підвищення температури на цій ділянці. Такі незначні фактори як: коливання температури зовнішнього середовища, зміна опору контактних роликів та ін., не мають значного впливу на систему, але в сукупності з іншими факторами можуть призвести до значного коливання температури відпалу.

Для підтримки постійної температури відпалу, за результатами аналізу процесу прийнято рішення використовувати контролер з можливістю ПІ/ПІД регулюванням. Це дозволить підтримувати задане значення «уставки» з мінімальним відхиленням і мінімальним часом стабілізації в разі значних впливів збурення на систему.

Налаштування ПІД-регулятора відбувалося в ручному режимі, так як застосування «автоналаштування» неможливо за даних умов технологічного процесу. Існуючий метод ручного налаштування Зіглера-Нікольса вимагає в процесі налаштування ПІД-регулятора формування стійких коливань, викликаних пере регулюванням для визначення коефіцієнтів регулятора [7]. Така умова налаштування приводить до обриву дроту, що не дозволяє використовувати цей метод у випадку, що розглядається. Синтез регулятора методом обчислення коефіцієнтів на базі модельних резуль-

татів складний до застосування, оскільки унеможливує моделювання системи з урахуванням всіх збурювальних впливів. Тому коефіцієнти регулятора розраховані на підставі експериментально знятої характеристики перехідного процесу.

Для запобігання перегріву, а отже і обриву дроту, рекомендується встановити обмеження сигналу впливу (струм) на такому рівні, щоб забезпечити запас потужності для підтримки температурного режиму, при цьому запобігти підвищенню температури, що спричиняє обрив. Також для підвищення якості контролю температури рекомендується встановити фільтр нижніх частот першого порядку для аналогового входу контролера (є можливість виконання опціонально в самому контролері). При тривалій роботі регулятор потужності (RM1E60AA100) вимагає додаткового пристрою охолодження. За результатами експерименту визначено, що для підтримки заданої температури вихідний сигнал регулятора в сталому режимі змінюється в межах 5%. Під час роботи на експериментальній установці збільшення швидкості при відпалі бухти масою в 100 кг досягало 18%. Сказане не відображається на температурному полі відпалу дроту. Вимірювання температури виконувалося за допомогою відеозапису значення з екрану пірометра, час дискретизації вимірювального пристрою 1 с. Для обробки отриманих результатів значення з відеозапису занесені до масиву з кроком 2 с. Похибка вимірювання складала менше 1,29%, що за підсумками отриманих механічних характеристик відпаленого дроту є задовільним результатом. Часові залежності швидкості і температури відпалу дроту під час проведення експериментальних досліджень показані на рис. 2 і рис. 3, відповідно.

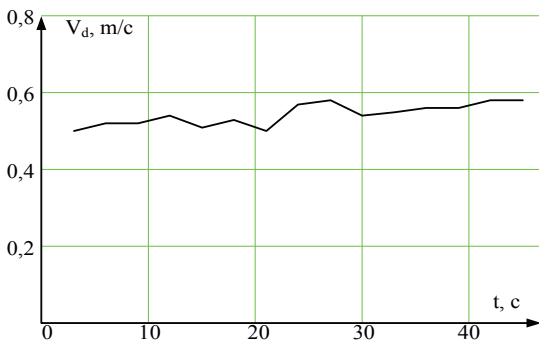


Рис. 2. Графік змінення швидкості протягування відпалюваного дроту в експериментальних дослідженнях

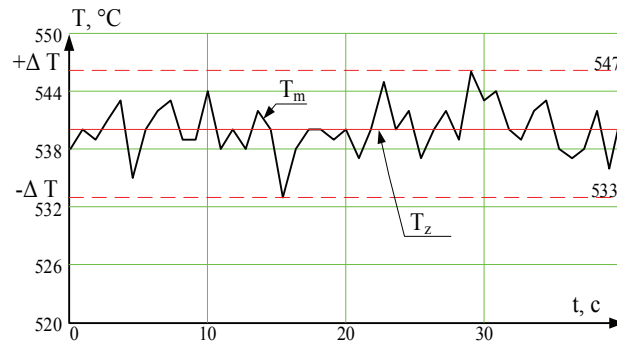


Рис. 3. Графік змінення температури в експериментальних дослідженнях: T_m — миттєве значення температури; T_z — задане значення температури

З графіків видно, що застосовуючи САК температури, зі зміною швидкості проходження дроту через нагрівальні елементи миттєве значення температури змінюється з відхиленням $\pm 1,29\%$. Застосування запропонованої САК дозволяє забезпечити межу міцності та відносне подовження по технологічній карті відповідно до діаметра відпалюваного дроту. На сьогодні у виробництві відсутні нормативні значення температури відпалу дроту. В технічній літературі вказано, що температура відпалу заходиться в діапазоні 500...600 °C і залежить від структури матеріалу дроту. Тому для кожної конкретної бухти температура відпалу встановлюється за результатами попереднього експериментального дослідження, а саме досліджуваний відрізок дроту відпалюють за різних значень температури, вимірюють значення межі міцності та відносного подовження і відповідно до вимог технологічної карти з виробництва дроту, встановлюють температуру відпалу. Із застосуванням САК значення температури відпалу встановлюється в налаштуваннях ПД-регулятора. Таким чином, розроблена САК повністю виконує поставлене завдання, щодо забезпечення показників механічних властивостей дроту по закінченню процесу відпалу.

У роботах [2, 8, 9] розглянуті проблеми нагрівання дроту в момент пуску технологічної установки. Запропоновані рішення характеризуються застосуванням додаткового обладнання та ускладненням алгоритму налаштування всієї системи. У розробленій САК такий режим реалізований без введення додаткового обладнання, за рахунок функціональних можливостей використовуваного регулятора. Вмикання приводу технологічної установки виконується одночасно з САК температури. При цьому умова задання пускового керованого впливу для нагрівання дроту на рівні 70...75% від номінального значення дозволяє забезпечити в перехідному процесі температуру нагріву дроту близьку до заданого рівня з відхиленням не більше 5%.

Висновки

Розроблено структуру системи автоматизованого керування температурою для відпалу сталевих зварювального дроту. Виконано вибір апаратної частини САК, що дозволяє підтримувати задану температуру відпалу дроту. У процесі експериментальних досліджень реалізованої системи похибка вимірювання не перевищувала 1,29 %, що дозволило забезпечити стабільність фізико-механічних характеристик дроту. Прийняті рішення з реалізації цієї системи характеризуються зручністю експлуатації, надійністю і забезпеченням якості технологічного процесу. Запропоновану систему САК можна використовувати для виконання відпалу дроту різного діаметра і різної структури.

Подальший напрямок досліджень полягає в обґрунтуванні необхідності використання процесу контрольованого охолодження у разі тривалого часу роботи для отримання заданих механічних показників відпаленого дроту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. C.-C. Yang. Improvement of the Mechanical Properties of 1022 Carbon Steel Coil by Using the Taguchi Method to Optimize Spheroidized Annealing Conditions / C.-C. Yang and C.-L. Liu // Materials. — 2016. — Vol. 9, No. 8. — P. 693.
2. Электропластическое волочение и новые технологии создания облегченных проводов / [О. А. Троицкий, В. И. Стащенко, В. Г. Рыжков и др.] // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). — Харьков, 2011. — Вып. 4/2011 — С. 111—117. — ISSN 2310-8479.
3. Физико-механические свойства сварочной проволоки / [Валерий Иванович Алимов, Мария Викторовна Георгиаду, Александр Борисович Белевцов, Д. В. Пономаренко] // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. — 2013. — Вып. 4. — 161 с. — ISSN 18143296.
4. Хребтов Е. О. Анализ способов нагрева проволоки совместно с процессом волочения / Евгений Олегович Хребтов // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. — 2015. — Вып. 3 (92). Ч. 1. — 212 с. — ISSN 2072-8263
5. Пономаренко Д. В. Влияние способа подготовки поверхности и термообработки на структуры и свойства сварочной проволоки / Дмитрий Валентинович Пономаренко // XIV Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлургов — молодых ученых, Екатеринбург, 11–15 ноября 2013. — Екатеринбург, 2013. — 344 с.
6. Перспективы развития украинского рынка сварочного оборудования и материалов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://weldingsite.com.ua/st21.html>.
7. Li Y. Patents, Software, and Hardware for PID control: an overview and analysis of the current art / Li Y., Ang K.H., Chong G.C.Y. // IEEE Control Systems Magazine. Feb. — 2006. — P. 42—54.
8. Альтгаузен А. П. Применение электронагрева и повышение его эффективности / А. П. Альтгаузен. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 128 с.
9. Удут Л. С. Система автоматического регулирования отжигом медной жилы телефонного кабеля / Леонид Степанович Удут, Игорь Александрович Чернышев // Оптимизация режимов работы систем электроприводов. Межвузовский сборник. — Красноярск, 1997. — С. 62.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 25.09.2017

Хребтов Євген Олегович — аспірант кафедри інформатики та вищої математики, інженер, e-mail: 34092@ukr.net .

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук;
Державне підприємство «Інженерний центр твердих сплавів «Світкермет», м. Світловодськ

Ye. O. Khrebtov^{1,2}

Automatic Control System Temperatures for Electric Contact Announcing Drop

¹Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University;

²State Enterprise "Engineering Center for Heavy Alloy "Svitcermet", Svitlovodsk

Currently, the issues of improving the quality of the welding wire in the production process are topical. The advantage of using direct electrocontact heating is based on the possibility of constructing and implementing an automatic temperature control system. The control system is made with the use of the PID regulator, the power regulator, the primary pyrometric

converter, the secondary converter, the current source, which makes it possible to set the appropriate parameters by the regulator to ensure the stability of the operating mode with automatic temperature control with electrocontact heating of the wire. It has been experimentally established that with the application of annealing temperature control system by controlling the temperature of the heating pyrometer, the control error did not exceed 1.3%. The tempered annealing temperature in a given range ensured the stability of the mechanical characteristics of the wire. The presented solutions for the implementation of this system have been characterized by convenience of operation, reliability and quality assurance of the technological process. The further direction of research is to analyze the need to use a controlled cooling process to obtain the required mechanical parameters of annealed wire.

Keywords: annealing, steel welding wire, control system, PID regulator, pyrometric complex.

Khrebtov Yevgen O. — Post-Graduate Student of the Chair of Informatics and Higher Mathematics, Engineer, e-mail: 34092@ukr.net

Є. О. Хребтов^{1,2}

Система автоматического контроля температуры для электроконтактного отжига проволоки

¹Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского;

²Государственное предприятие «Инженерный центр твердых сплавов «СВЕТКЕРМЕТ», Светловодск

На сегодня актуальным является вопрос повышения качества стальной сварочной проволоки в процессе производства. Преимущество применения прямого электроконтактного нагрева обоснованно на возможности построения и реализации системы автоматического регулирования температуры нагрева. Система управления выполнена на базе ПИД-регулятора, регулятора мощности, измерительного комплекса АПИР-С, состоящего из первичного пирометрического преобразователя, вторичного преобразователя и источника тока. При установлении соответствующих параметров, ПИД-регулятор обеспечивает устойчивость рабочего режима с автоматическим регулированием температуры при электроконтактном нагревании провода. Экспериментально установлено, что с применением системы управления температуры отжига за счет контроля пирометром температуры нагрева, ошибка регулирования не превышала 1,3 %. Соблюдение температуры отжига в заданном диапазоне обеспечила стабильность механических характеристик проволоки. Принятые решения реализации предложенной системы характеризуются удобством эксплуатации, надежностью и обеспечением качества технологического процесса.

Дальнейшее направление исследований заключается в обосновании необходимости использования процесса контролируемого охлаждения для получения заданных физико-механических параметров отожженной проволоки.

Ключевые слова: отжиг, стальной сварочный провод, система управления, ПИД-регулятор, пирометрический комплекс.

Хребтов Евгений Олегович — аспирант кафедры информатики и высшей математики, инженер, e-mail: 34092@ukr.net