

Jerzy BARGLIK  
Alicja KUREK  
Kasper MIGAŁA  
Jan MURAS

Instytut Metalurgii  
Politechniki Śląskiej

## AUTOMATYZACJA PROCESU TOPIENIA METALI W PIECACH INDUKCYJNYCH

**Streszczenie.** W artykule omówiono mikrokomputerowy układ sterowania piecem indukcyjnym. Scharakteryzowano algorytm sterowania mocą i temperaturą pieca indukcyjnego z wodnym chłodzeniem wzbudnika. Podano konfigurację systemu mikrokomputerowego.

### 1. Wstęp

Stopień automatyzacji krajowych odlewni wykorzystujących piece indukcyjne jest wciąż jeszcze niedostateczny. Topienie metali w tych piecach przebiega przy niepełnej informacji o stanie procesu. Najistotniejszymi parametrami, które nie są znane w czasie wytopu, są temperatura i masa wsadu. Ciągły pomiar temperatury metalu w piecu jest niedokładny i kosztowny. Mimo prowadzenia licznych prac na ten temat stanowi nierozwiązany do końca problem techniczny, zwłaszcza dla miedzi i jej stopów, żeliwa oraz niektórych innych metali. Brak ciągłej informacji o temperaturze ciekłego metalu prowadzi do przegrzewania kąpieli, nadmiernego jednostkowego zużycia energii elektrycznej, szybszego zużycia wyłożenia ogniotrwałego. Ponadto ze względu na niestałość masy kąpieli zaczynowej trudno jest uzyskać powtarzalność warunków topienia w piecu. Innym niedostatkiem dotychczasowej praktyki ręcznego prowadzenia wytopu jest brak rejestracji podstawowych parametrów procesu, co utrudnia obliczanie wskaźników produkcyjnych i racjonalizację produkcji.

### 2. Funkcje mikrokomputerowego układu sterowania

Usunięcie podanych we wstępie trudności jest możliwe przez:

- uzupełnienia wyposażenia pomiarowego pieca,
- wprowadzenia mikrokomputerowego układu sterowania.

Konieczne jest więc uzupełnienie systemu pomiarowego pieca o przyrządy i układy pozwalające mierzyć i dostarczać do mikrokomputera następujące wielkości:

- masę wsadu poprzez zainstalowanie czujników tensometrycznych wających cały piec,

- parametry elektryczne (moc czynna, prąd, napięcie) poprzez zastosowanie przetworników analogowo-cyfrowych.

Można wymienić następujące podstawowe funkcje mikrokomputerowego układu sterowania piecem indukcyjnym:

- zbieranie i przetwarzanie danych pomiarowych,
- obliczanie na podstawie równań bilansu cieplnego pieca średniej entalpii i temperatury ciekłego metalu, zapotrzebowania mocy czynnej,
- sygnalizacja momentu przyłączenia odczepów transformatora lub nastawy tyrystorowego sterownika mocy,
- sterowanie nmiarowaniem wsadu i dodatków stopowych oraz korekta składu chemicznego stopu,
- przedstawianie na ekranie kontrolnym znajdującym się na stanowisku topielnym bieżących i zadanych parametrów wytopu,
- okresowy wydruk zestawień przedstawiający wyniki i wskaźniki produkcyjne,
- wydruk karty wytopu.

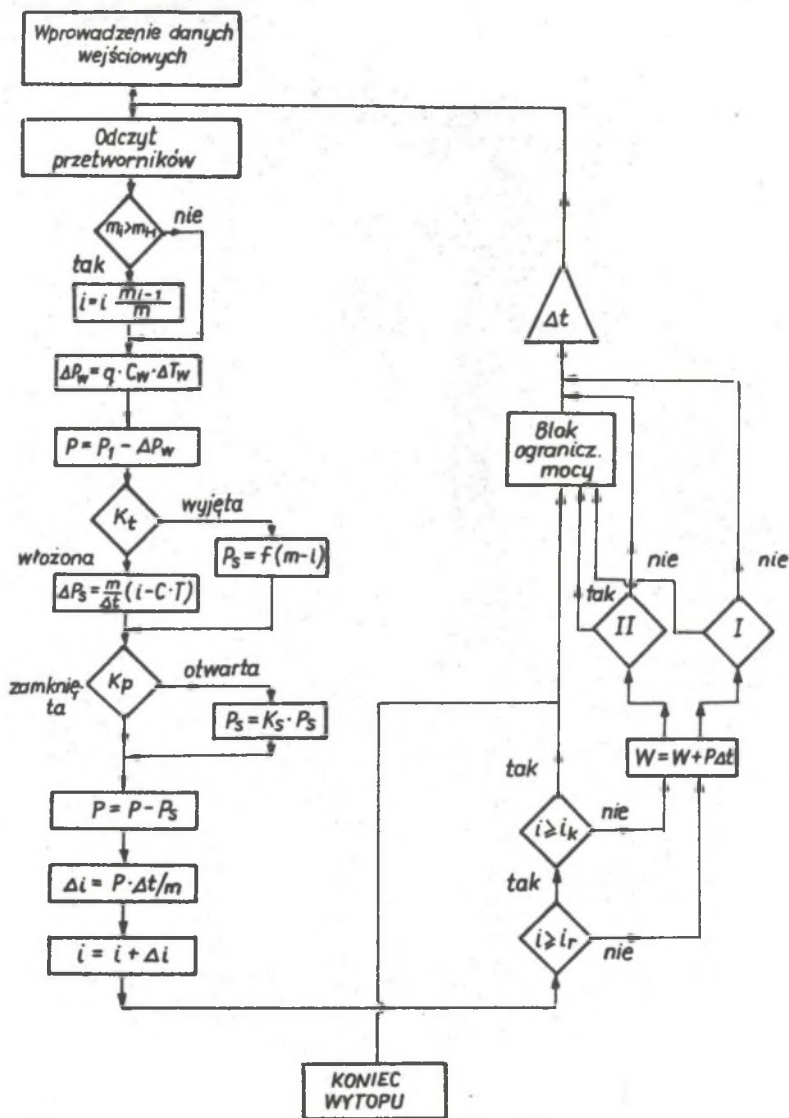
Ponadto możliwe jest rozszerzenie mikrokomputerowego układu sterowania piecem indukcyjnym o następujące funkcje:

- sterowanie układem kompensacji mocy biernej i symetryzacji obciążenia,
- kontrola stanu wyłożenia ogniotrwałego pieca,
- sterowanie spiekaniem wymurówki,
- identyfikacja i sygnalizacja stanów awaryjnych.

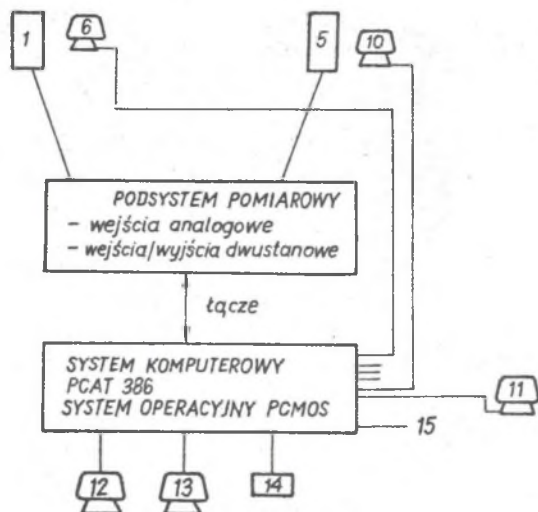
Algorytm sterowania temperaturą i mocą czynną pieca indukcyjnego stanowi kluczową część systemu mikrokomputerowego. Algorytm ten oparty jest na układzie równań bilansu energetycznego pieca pozwalającym obliczać w sposób ciągły średnią entalpię wsadu. Przewidziany jest dorywczy pomiar temperatury wsadu po jego roztopieniu, co umożliwi adaptację modelu obliczeniowego [1-4]. Mikrokomputerowe układy sterowania piecami indukcyjnymi o zbliżonej strukturze oferowane są od pewnego czasu przez niektóre firmy zachodnie, między innymi przez BBC Brown-Boveri [5] i Fuyi Electric Ltd (Japonia) [6]. Wiele pieców indukcyjnych wyposażonych jest w mikrokomputerowe układy nmiarowania wsadu i korekty składu chemicznego stopu. Układ taki opracowano i wdrożono między innymi w odlewni wlewków Walcowni Miedzi i Stopów HMN "Szopienice" [7].

### 3. Algorytm sterowania temperaturą i mocą pieca

Uproszczoną postać algorytmu sterowania temperaturą i mocą czynną dla pieca indukcyjnego z wodnym chłodzeniem wzbudnika pokazano na rys.1. Jak już wspomniano w p.2, algorytm ten umożliwił ciągłe (cykliczne) obliczanie średniej entalpii wsadu na podstawie danych wejściowych informujących o stałych parametrach pieca i właściwościach stopu oraz odczytu przetworników pomiarowych masy wsadu, parametrów elektrycznych oraz parametrów



Rys.1 Algorytm sterowania temperaturą i mocą czynną pieca indukcyjnego z wodnym chłodzeniem wzbudnika



Rys.2 Konfiguracja systemu mikrokomputerowego dla odlewni posiadającej pięć stanowisk topielnych z piecami indukcyjnymi: 1-5 szafy sterownicze pieców, 6-10 monitory przypiecowe, 11- monitor kierownika wydziału, 12- monitor operatora, 13- monitor obsługi składowiska wsadu, 14- drukarka, 15- łącze przeznaczone do podłączenia komputera w laboratorium analitycznym

toru wymiany ciepła (natężenie przepływu i przyrost temperatury wody chłodzącej wzbudnik, położenie pokrywy pieca itp.). Po sprawdzeniu, czy w danym kroku obliczeniowym nastąpiła zmiana masy wsadu i ewentualnym obliczeniu nowej wartości entalpii właściwej, następuje wyliczenie strat mocy we wzbudniku. W okresie od początku wytopu do roztopienia wsadu straty mocy cieplnej obliczane są na podstawie zdjętej doświadczalnie charakterystyki  $P_g = f(m \cdot i)$ . Wartość tych strat zależy ponadto od położenia pokrywy pieca (empiryczny współczynnik korekcyjny  $k_g$ ). Z kolei obliczana jest moc czynna wydzielona we wsadzie, przyrost entalpii właściwej  $\Delta i$  oraz jej nowa wartość  $i$ . Jeśli  $i < i_T$  (entalpia właściwa dla temperatury topienia stopu), to po zsumowaniu energii zużytej w czasie wytopu sprawdza się kryterium ograniczenia mocy  $i/I$ . Jak wiadomo, podczas roztopiania piec indukcyjny powinien pracować z możliwą maksymalną mocą czynną. Konieczność ograniczenia mocy w tym okresie wytopu może pojawić się jedynie wskutek niewłaściwego wsadowania. Nieodpowiedni stosunek ilości wsadu stałego i kąpieli może prowadzić do przegrzania fazy ciekłej i nadmiernych strat metalu. W takim przypadku należy przejściowo ograniczyć moc czynną doprowadzoną do pieca. O ile  $i > i_T$ , przechodzi się do sprawdzenia warunku  $i < i_K$  (entalpia właściwa dla temperatury odlewania).

Gdy  $i < i_K$ , należy ograniczyć moc według kryterium (II) w zależności od przewidywanego czasu spustu. Jeśli  $i \geq i_K$ , układ sygnalizuje ukończenie wytopu. Po roztopieniu całego wsadu wartość cieplnych strat mocy obliczana jest na podstawie wskazania czujnika termoelektrycznego zanurzeniowego. Pozwala to na sprawdzenie poprawności działania algorytmu oraz umożliwia adaptację modelu obliczeniowego.

Dokonano sprawdzenia algorytmu opierając się na danych pomiarowych zebranych z pieca indukcyjnego tyglowego PIT 1000 Cu przeznaczonego do topienia brązu B-101[8]. Stwierdzono, że względna wartość błędu temperaturowego w chwili osiągnięcia temperatury topienia jest rzędu kilku procent. Pozwala to wykorzystać ten stosunkowo prosty algorytm w ogólnym rozwiązaniu mikrokomputerowego układu sterownia.

#### 4. Konfiguracja systemu mikrokomputerowego

Omawiany w artykule mikrokomputerowy układ sterownia wykorzystany zostanie do sterowania piecem indukcyjnym kanałowym do topienia brązów i mosiądzów. Docelowo zakłada się rozszerzenie systemu na dalsze piece topielne. Na rys.2 pokazano konfigurację systemu dla odlewni z pięcioma stanowiskami topielnymi.

System zawiera:

- podsystem pomiarowy,
- system komputerowy PCAT 386,
- urządzenia peryferyjne.

Podsystem pomiarowy jest samodzielnym systemem komputerowym działającym pod systemem czasu rzeczywistego i programowanym przez komputer główny poprzez łącze szeregowo RS 232 [9]. Podsystem pomiarowy może obsługiwać około 200 sygnałów we/wy, a więc może współpracować z co najmniej pięcioma piecami.

#### 5. Wnioski końcowe

Przewiduje się, że omówiony w artykule układ mikrokomputerowy wykorzystany zostanie do sterowania procesem topienia brązów i innych stopów miedzi w piecu indukcyjnym kanałowym. Proponowana konfiguracja systemu zapewni łatwość jego rozbudowy, co umożliwi w przyszłości objęcie systemem całej odlewni.

Zastosowanie systemu wiązać się będzie z licznymi efektami techniczno-ekonomicznymi, takimi jak: poprawa warunków pracy, zmniejszenie jednostkowego zużycia energii elektrycznej, wydłużenie czasu trwania kampanii, ograniczenie strat metalu i dodatków stopowych.

## LITERATURA

- [1] Zgłoszenie patentowe nr P 264083. Sposób i układ sterowania piecem indukcyjnym.
- [2] Barglik J.: Teoretyczny model układu sterownia piecem indukcyjnym. Mat. I Konf. "Badania naukowe w elektrotermii", Wisła 1986 s. 3-6.
- [3] Barglik J.: Algorytm sterownia mocą i temperaturą pieca indukcyjnego. Mat. II konf. "Badania naukowe w elektrotermii", Wisła 1987, s. 5-10.
- [4] Barglik J.: Mikrokomputerowy układ sterowania piecem indukcyjnym. Mat. Konf. "Automatyzacja w elektotermii", Sulejów 1988, s. 30-33.
- [5] Pyter H.: Automatisierungsperspektiven von Induktions-Schmelzofen mit Mikroprozessortechnik. Materiały BBC BROWN-BOVERI.
- [6] Omori I.: Automatische Temperatur Steuerung mittels Kleinrechner beim Schmelzen von Gusseisen. Vortrag A-4 s. 60-65.
- [7] Drozdek A., Łomoński H.: System optymalnego namiarowania i korekty wsadu dla pieców topliwych. Mat. Konf. "Zagadnienia wydajności topienia pieców kanałowych do miedzi".
- [8] Sprawozdanie Instytutu Metalurgii Pol. Śl. 1987, (nie publ.).
- [9] Barglik J., Służałek J.: System mikrokomputerowy do sterowania procesem topienia w piecach indukcyjnych do stopów miedzi. Mat. III Konf. "Badania naukowe w elektrotermii", Wisła 1988, s. 20-27.

## AUTOMATIZATION OF METAL METALING PROCESS IN INDUCTION FURNACES

## Summary

Microcomputer control system of induction furnace has been discussed in this paper. Power and temperature control algorithm for induction furnace with water-cooled hardening coil has been characterized. Configuration of microcomputer system has been revealed.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ МЕТАЛЛОВ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

## Резюме

В статье рассмотрена микрокомпьютерная система управления индукционной печью. Дана характеристика алгоритма управления мощностью и температурой индукционной печи с водяным охлаждением индуктора. Подана конфигурация микрокомпьютерной системы.