XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom III

KKA 2005

Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk

XV Krajowa Konferencja Automatyki
Tom III

Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR
Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
WSPÓŁORGANIZATORZY
Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓŁORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFCZYK
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowi	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-02-2

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

ZASTOSOWANIA TECHNICZNE – CZĘŚĆ C

Urządzenia, maszyny, środowisko

STEROWANIE ROZMYTE PRACĄ WTRYSKARKI TWORZYWA SZTUCZNEGO

Bogdan BROEL-PLATER

Politechnika Szczecińska, Wydział Elektryczny, Instytut Automatyki Przemysłowej
ul. 26 Kwietnia 10, 70-126 Szczecin, e-mail:Bogdan.Broel-Plater@ps.pl

Streszczenie: W referacie opisano trzy zastosowania logiki rozmytej do sterowania temperaturą form wtryskowych z grzanymi kanałami. Formy takie wykorzystują niehermetyzowane grzałki o dość dużej mocy cieplnej. Łatwość ich zawilgocenie wymusza jednak stosowanie w regulatorach temperatury form wtryskowych specjalnych procedur osuszania izolacji grzałek. Procedura taka wykorzystująca logikę rozmytą do oceny stopnia zawilgocenia grzałki oraz jej podatności na osuszanie jest opisana w referacie. Opisano w nim także rozmytą optymalizację wartości nastaw klasycznego regulatora PID sterującego temperaturą formy oraz algorytm wspomagającego sterowania rozmytego. Wszystkie te algorytmy są możliwe do zaimplementowania w przemysłowym regulatorze temperatury form wtryskowych. Rozważania zilustrowano wynikami symulacji komputerowych.

Słowa kluczowe: Sterowanie rozmyte, optymalizacja regulatora PID, sterowanie temperaturą, wtryskiwanie tworzyw sztucznych.

1. WPROWADZENIE

Spośród metod tzw. sztucznej inteligencji najwięcej praktycznych zastosowań w automatyce przemysłowej ma obecnie logika rozmyta a wszyscy znani producenci sprzętu automatyki oferują urządzenia, w których wykorzystywane są algorytmy sterowania rozmytego. Jednak algorytmy takie implementowane w tzw. regulatorach uniwersalnych lub sterownikach programowalnych (PLC lub PAC) w niewielkim tylko stopniu wykorzystują możliwości, jakie stwarza logika rozmyta. Logikę rozmytą można wykorzystać w znacznie większym stopniu w urządzeniach specjalizowanych, zaś ich opracowanie jest celowe zwłaszcza wtedy, gdy będą to regulatory dedykowane dla sterowania procesami technologicznymi ważnymi i często spotykanymi w przemyśle.

Tworzywa sztuczne stosowane są obecnie coraz częściej nie tylko dlatego, że mają odpowiednie właściwości lecz także z tego powodu, że istnieją tanie technologie masowego i praktycznie bezodpadowego wytwarzanie przedmiotów o bardzo zróżnicowanych kształtach i wymiarach [5, 7, 8]. Jedną z takich technologii jest wtryskiwanie uplastycznionego termicznie tworzywa do formy, w której po zestaleniu się tworzywa powstaje jest wyrób o żądanym kształcie.

2. FORMA WTRYSKOWA JAKO OBIEKT STEROWANIA AUTOMATYCZNEGO

Wtryskiwanie tworzyw sztucznych stosowane jest od bardzo dawna, jednak coraz częstsze wytwarzanie z dużą wydajnością metodą tzw. wtrysku wielopunktowego wielkogabarytowych i cienkościennych przedmiotów z nowoczesnych tworzyw wymaga dokładniejszego niż kiedyś sterowania przebiegiem tego procesu a zwłaszcza sterowania temperaturą wtryskiwanego tworzywa.

Formy wtryskowe z grzanymi kanałami (FWGK) można zaliczyć do szybkich obiektów elektrotermicznych. Z punktu widzenia regulacji temperatury są to zaś aperiodyczne obiekty stabilne mające właściwości dynamiczne stosunkowo niskiego rzędu z opóźnieniem. Mają one ponadto wyraźnie różniące się przebiegi rozgrzewania i stygnięcia (nieliniowość dynamiczna) oraz nieliniową, degresywną charakterystykę statyczną [9].

Temperatura form wtryskowych z grzanymi kanałami (FWGK) podczas pracy wtryskarki musi być stabilizowana. Formy te są jednak podczas pracy wtryskarki poddawane silnym okresowym zakłóceniom, których źródłem jest pulsacyjny przepływ wtryskiwanego tworzywa. Jednym z podstawowych zadań układu sterowania jest, więc minimalizowanie wpływu tych zakłóceń.

Używane obecnie grzałki FWGK są niehermetyzowane ze względu na różną rozszerzalność cieplną materiałów, z których są one budowane oraz znaczną moc cieplną i niewielkie wymiary. Higroskopijność materiałów izolacyjnych powoduje zaś, że eksploatacja wtryskarki bez każdorazowego wstępnego osuszenia izolacji grzałek może nie tylko grozić ich uszkodzeniem, ale także być niebezpieczna dla obsługi wtryskarki. Suszenie grzałek jest specyficzną funkcją układu sterowania temperaturą form wtryskowych [5].

Dzięki zastosowaniu logiki rozmytej można w regulatorach temperatury form wtryskowych zrealizować takie funkcje układu sterowania jak np.:

- bezpośrednie sterowanie rozmyte temperaturą formy wtryskowej (BSR),

- wspomagające sterowanie rozmyte temperaturą formy wtryskowej (WSR),
- rozmyta optymalizacja algorytmu konwencjonalnego sterowania temperaturą formy wtryskowej (ROKS),
- rozmyte sterowanie przebiegiem procesu suszenia izolacji grzałek formy wtryskowej (RSPS).

Oczywiście możliwe jest także wyposażenie układu sterowania temperaturą formy wtryskowej w kilka z tych funkcji. Dotyczy to zwłaszcza rozmytego sterowania przebiegiem suszenia grzałek (RSPS), proces ten jest, bowiem wykonywany w innej fazie pracy wtryskarki aniżeli pozostałe z wymienionych powyżej koncepcji.

Istotnym ograniczeniem możliwości praktycznego wykorzystywania logiki rozmytej jest ciągle jeszcze niewielki stopień jej akceptacji w przemyśle. Dlatego też pierwsza z wymienionych powyżej koncepcji zastosowania logiki rozmytej w regulatorach temperatury form wtryskowych, czyli bezpośrednie sterowanie temperatura formy (BSR) ma obecnie niewielkie szanse na szersze praktyczne zastosowanie. Zaakceptowane mogą być natomiast pozostałe z tych koncepcji - bowiem w nich logika rozmyta jedynie wspomaga działanie klasycznego regulatora. Dlatego też koncepcje te są tematem tego referatu.

3. ROZMYTE STEROWANIE WSPOMAGAJĄCE TEMPERATURĄ FORMY WTRYSKOWEJ

Ze względu na sposób pracy wtryskarki sterowanie temperaturą formy z grzanymi kanałami jest regulacją stabilizacyjną odbywającą się w obecności silnych cyklicznych zakłóceń wywołanych przepływem kolejnych porcji wtryskiwanego tworzywa [4, 7, 8].

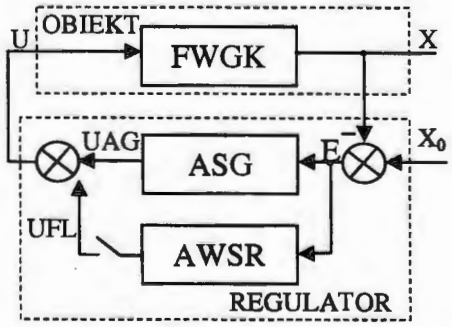
Aby skutecznie stabilizować temperaturę formy wtryskowej konieczne jest – ze względu na właściwości sterowanego procesu – użycie regulatora typu PID. Zaś ze względów praktycznych powinien to być regulator samonastrajający się [9].

Celowość zastosowania tzw. sterowania wspomagającego w regulatorze temperatury form wtryskowych z grzanymi kanałami uzasadnia to, że procedura samonastrajania głównego algorytmu sterowania (ASG) jest wykonywana podczas rozgrzewania wtryskarki i tym samym algorytm ASG dostraja się do właściwości formy wtryskowej bez tworzywa, zaś podczas pracy wtryskarki regulator steruje temperaturą formy cyklicznie wypełnianej wtryskiwanym tworzywem. Ponadto przepływ tego tworzywa jest nie tylko silnym zakłóceniem, ale zmienia także właściwości obiektu sterowania, co jednak nie ma wpływu na wartości nastaw ASG.

Rozmyte sterowanie wspomagające temperaturą formy wtryskowej (WSR) realizowane jest w układzie sterowania pokazanym na rys. 1.

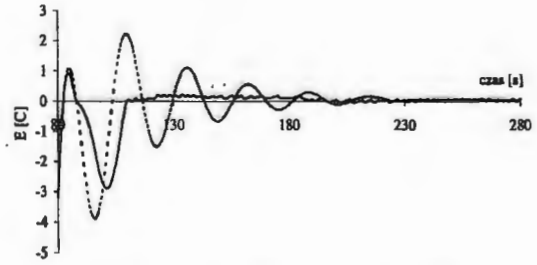
Aby układ pokazany na rys. 1 pracował bez błędu ustalonego - także z odłączonym rozmytym algorytmem wspomagającym (AWSR) - algorytm sterowania głównego (ASG) musi mieć właściwości PID lub PI.

Upraszcza to znacznie wspomagający algorytm sterowania rozmytego (AWSR), ponieważ może on wykorzystywać stosunkowo prosty algorytm o typu PD działający jedynie wówczas, gdy temperatura regulowana (X) zbliży się do swojej wartości zadanej (X_0) i wówczas przeciwdziałający „odchodzeniu" wielkości regulowanej od wartości zadanej pod wpływem zakłóceń. Dla wygody użytkownika powinien to być oczywiście Rozmyty regulator samonastrajający się.



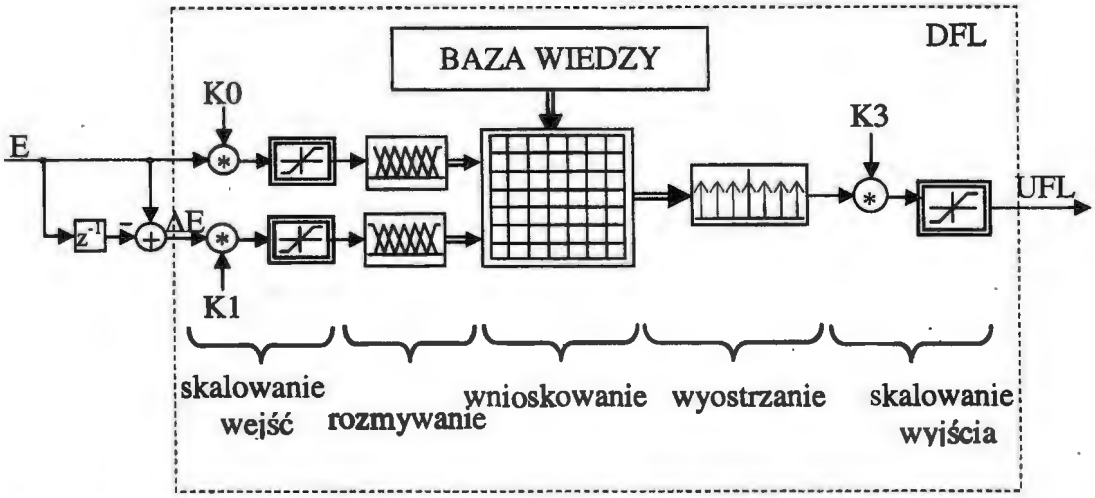
Rys. 1. Struktura układu sterowania ze wspomagającym sterowaniem rozmytym; ASG – algorytm sterowania głównego, AWSR – algorytm wspomagającego sterowania rozmytego.

Próby (symulacyjne oraz praktyczne) pokazały, że nawet prosty algorytm rozmytego sterowania wspomagającego (AWSR) - pokazany na rys. 2 -wykorzystujący algorytm dwuwejściowego wnioskowania rozmytego (DFL) w znaczący sposób poprawia jakość sterowania temperaturą formy wtryskowej. Na rys. 3 i 4 pokazano przebiegi błędu sterowania podczas końcowej fazy rozgrzewania formy oraz po rozpoczęciu procesu wtryskiwania tworzywa.

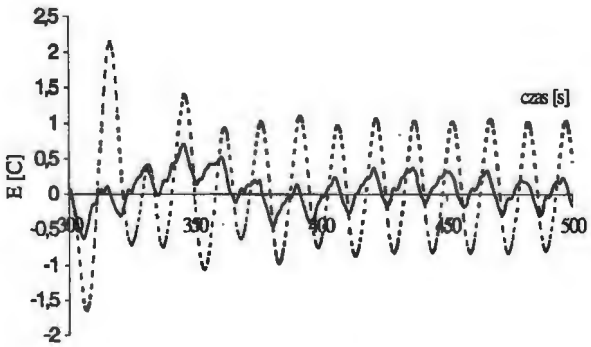


Rys. 3. Przebieg błędu sterowania podczas końcowej fazy rozgrzewania formy; —— z włączonym algorytmem sterowania wspomagającego, - - - bez tego algorytmu

Algorytm ten (podobnie jak pozostałe algorytmy opisane w referacie) wykorzystuje trójkątne funkcje przynależności wielkości wejściowych i singletonowe funkcje przynależności dla wielkości wyjściowej. Wszystkie wielkości mogą przynależeć do 7 zbiorów. Wnioskowanie wykonywane jest metodą MIN-MAX z użyciem operatorów Zadeh'a zaś wyostrzanie wykorzystuje metodę środka ciężkości [6].



Rys. 2. Struktura wykorzystanego algorytmu rozmytego sterowania wspomagającego (AWSR): DFL blok dwuwejściowego wnioskowania rozmytego.



Rys. 4. Przebieg błędu sterowania po rozpoczęciu procesu wtryskiwania tworzywa; —— z włączonym algorytmem sterowania wspomagającego, - - - bez tego algorytmu.

Dzięki odpowiedniemu doborowi praw sterowania oraz funkcji przynależności zmiennych wejściowych i wyjściowych dostrajanie pokazanego na rys. 2 algorytmu wspomagającego sterowania rozmytego (AWSR) sprowadza się do określenia wartości jedynie trzech parametrów (K0, K1 i K2). Ponieważ zaś wartości tych parametrów można określić na podstawie przebiegu procesu rozgrzewania formy wtryskowej to tym samym można stworzyć algorytm samonastrajającego się rozmytego sterowania wspomagającego.

Znacznie lepsze możliwości regulacyjne można uzyskać stosując regulator o strukturze MFC z rozmytym algorytmem regulatora korekcyjnego [3, 10]. Jednak w tym wypadku praktycznym ograniczeniem możliwości zrealizowania tej koncepcji może być stosunkowo niewielka moc obliczeniowa systemów mikroprocesorowych wykorzystywanych w dotychczas produkowanych regulatorach temperatury.

4. ROZMYTA OPTYMALIZACJA ALGORYTMU KONWENCJONALNEGO STEROWANIA TEMPERATURĄ FORMY WTRYSKOWEJ

Rozmyta optymalizacja algorytmu sterowania konwencjonalnego (ROSK) temperaturą formy wtryskowej (FWGK) jest inną metodą mogącą znacząco polepszyć jakość regulacji dzięki adaptacji nastaw regulatora do zmieniających się właściwości obiektu sterowania i warunków jego pracy.

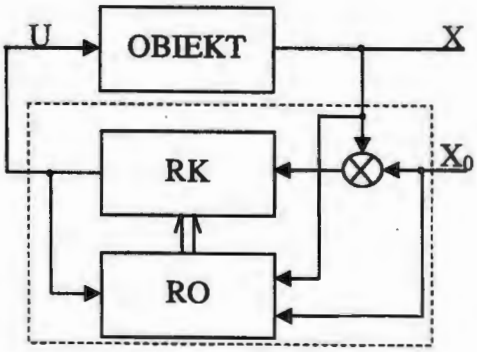
Typowe przemysłowe regulatory samonastrajające się określają wartości swoich nastaw na podstawie [9]:

- naturalnych przebiegów wielkości regulowanej występujących podczas pracy automatycznej po odpowiednio dużej skokowej zmianie wartości zadanej (np. podczas rozruchu układu sterowania) lub podczas sterowania ręcznego po dużych i długotrwałych zmianach wartości sygnału sterującego,
- wymuszonych przebiegów wielkości regulowanej występujących podczas wykonywania aktywnego eksperymentu identyfikacyjnego, takiego jak np. tzw. eksperyment przekaźnikowy.

W obu tych rozwiązaniach wartości nastaw regulatorów są dobierane w taki sposób, aby zoptymalizować (wg. przyjętego przez ich producenta kryterium jakości) jedynie przebiegi wielkości regulowanej. Wadą takiego podejścia jest pomijanie tego, że w praktyce podobną jakość regulacji (ocenianą wyłącznie na podstawie przebiegu wielkości regulowanej) można uzyskać eksploatując w różny sposób urządzenie wykonawcze - co ma istotne znaczenie, jeśli jest to urządzenie mechaniczne (zawór lub zasuwa).

Wady tej pozbawiony jest – pokazany na rys. 5 – układ sterowania z rozmytą optymalizacją algorytmu sterowania klasycznego. W układzie tym rozmyty optymalizator (RO) kompleksowo „ocenia" zachowanie się układu sterowania i odpowiednio zmienia wartości nastaw regulatora klasycznego (RK). Pozwala to na zachowanie wymaganej jakości sterowania przy równocześnie

„oszczędnej" eksploatacji mechanicznego urządzenia wykonawczego [1, 4].



Rys. 5. Struktura układu sterowania z rozmytą optymalizacją wartości nastaw regulatora klasycznego; RK – regulator klasyczny, RO – rozmyty optymalizator.

W układach regulacji temperatury form z grzanymi kanałami FWGK wykorzystywane są elementy energoelektroniczne i dlatego nie ma potrzeby optymalizacji algorytmu sterowania ze względu na „oszczędną" ich eksploatację. Celem takiej optymalizacji mogłaby jednak być poprawa współpracy obwodów mocy układu sterowania z siecią je zasilająca a więc np. zmniejszenie wprowadzanych do tej sieci zakłóceń. Problem ten ma szczególne znaczenie w układach z fazowym sterowaniem elementami energoelektronicznymi.

Innym celem rozmytej optymalizacji algorytmu sterowania temperaturą formy wtryskowej może być np. adaptacja wartości nastaw regulatora klasycznego do zmieniających się – zależnie od temperatury i właściwości wtryskiwanego tworzywa oraz tzw. objętości wtrysku - właściwości układu sterowania.

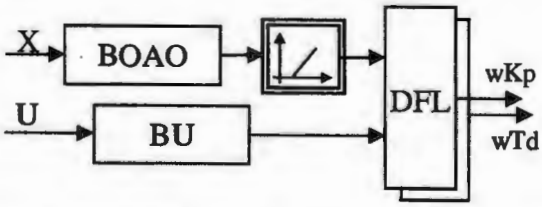
Algorytm takiej rozmytej optymalizacji nastaw regulatora klasycznego (RK) został opracowany i przebadany na drodze symulacyjnej. Jego zadaniem jest zmniejszanie amplitudy wahań temperatury formy wtryskowej podczas pracy wtryskarki. Efekt ten uzyskiwany jest dzięki korygowaniu wartość wzmocnienia proporcjonalnego Kp i stałej czasowej różniczkowania Td algorytmu PID regulatora klasycznego (RK):

$$Kp=Kd0*wKp; \quad Td=Td0*wTd \qquad (1)$$

gdzie Kp0 i Td0 to wartości bazowe odpowiednich nastaw regulatora wyznaczone podczas rozgrzewania wtryskarki, zaś wKp i wTd to odpowiednie współczynniki korygujące o wartościach wyznaczonych przez algorytm optymalizatora rozmytego (RO).

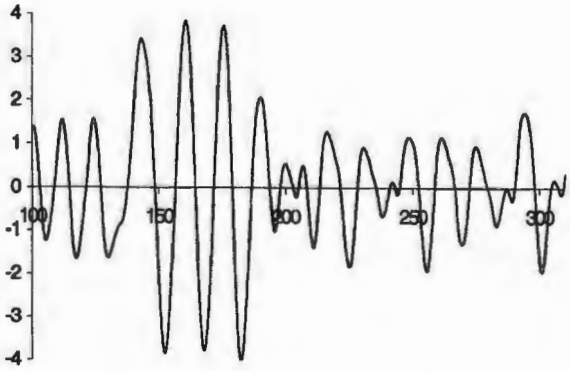
Wartości parametrów Kp i Td korygowane są wówczas, gdy amplituda trzech kolejnych oscylacji wielkości regulowanej (X) staje się zbyt duża. Podczas obliczania wartości współczynników skalujących nastawy regulatora klasycznego wykorzystywana jest także wartość średnia sygnału sterującego U temperaturą formy. Pozwala to na uwzględnienie nieliniowości statycznej i dynamicznej obiektu elektrotermicznego, jakim jest forma wtryskowa z grzanymi kanałami.

Na rys. 6 pokazano strukturę algorytmu rozmytego optymalizatora (RO) wykorzystującego dwa bloki dwuwejściowego wnioskowania rozmytego (DFL) o strukturze pokazanej na rys. 2.



Rys. 6. Struktura algorytmu rozmytego optymalizatora zmniejszającego amplitudę oscylacji wielkości regulowanej; BOAO – blok obliczający amplitudę trzech kolejnych oscylacji wielkości regulowanej, BU – blok uśredniający sygnał sterujący U, DFL – blok dwuwejściowego wnioskowania rozmytego.

Zmniejszenie amplitudy oscylacji błędu temperatury regulowanej wywołanej działaniem rozmytego optymalizatora pokazuje rys. 7. Przed rozpoczęciem (w chwili t = 130 sek.) procesu wtryskiwania błąd ten nie przekraczał wartości ok. ± 1.5 ^{0}C. Po rozpoczęciu wtryskiwania amplituda wahań błędu sterowania wzrosła do wartości ok. ± 3.9 ^{0}C a następnie po trzech oscylacjach algorytm rozmytej optymalizacji jednorazowo korygując wartości nastaw Kp i Td regulatora klasycznego zmniejszył ją do akceptowalnej wartości ok. ± 2.0 ^{0}C.



Rys. 7. Zmniejszenie amplitudy wahań błędu temperatury formy wtryskowej spowodowane działaniem algorytm ROKS.

Algorytm rozmytej optymalizacji wartości nastaw regulatora klasycznego (ROKS) może ponownie skorygować nastawy dopiero po odczekaniu aż minie dziesięć kolejnych oscylacji wielkości regulowanej.

5. 5ROZMYTE STEROWANIE SUSZENIEM IZOLACJI GRZAŁEK FORM WTRYSKOWYCH

W rozdziale 2 referatu zwrócono uwagę na to, że ze względu na konstrukcje grzałek form wtryskowych ich izolacja - przed rozpoczęciem pracy wtryskarki – powinna być wstępnie osuszona. Proces suszenia izolacji

grzałek musi być oczywiście bezpieczny zarówno dla obsługi wtryskarki jak i jej grzałek.
Spełnienie warunku pierwszego (czyli bezpieczeństwo obsługi) zapewnia zasilanie grzałki podczas suszenia napięciem U_G o wartości bezpiecznej dla człowieka. Proces suszenia będzie zaś bezpieczny także dla konstrukcji grzałki, jeśli równocześnie ciśnienie pary wodnej powstającej wewnątrz rozgrzewającej się grzałki nie przekroczy dopuszczalnej - dla danej grzałki - wartości.

Ciśnienie powstającej pary wodnej zależy zarówno od ilości wilgoci zgromadzonej w izolacji jak i od konstrukcji grzałki (wymiary, moc i położenie grzejnika względem izolacji, stopień wypełnienia przestrzeni wewnątrz grzałki przez izolację, długość drogi którą musi przebyć wewnątrz grzałki para wodna oraz wielkość powierzchni przez którą może ona wydostawać się na zewnątrz) oraz właściwości materiału izolacyjnego (współczynnik rozszerzalności i przewodności cieplnej itp.). Konstrukcja grzałki i właściwości materiału izolacyjnego określają tzw. podatność grzałki na osuszanie. Jest to oczywiście pojęcie nieprecyzyjne, chociaż intuicyjnie oczywiste i zrozumiałe.

W produkowanych obecnie regulatorach temperatury form wtryskowych wstępne suszenie izolacji grzałek najczęściej przebiega według zdefiniowanego a priori programu zmian wartości sygnału sterującego (suszenie w pętli otwartej) lub programu zmian wartości zadanej (suszenie w pętli zamkniętej z ograniczonym sygnałem sterującym). Programy takie nie uwzględniają jednak zarówno stanu rzeczywistego zawilgocenia izolacji grzałki jak i jej podatności na osuszanie. Dlatego też, aby uzyskać bezpieczną eksploatację wtryskarki producenci z ostrożności najczęściej nadmiernie wydłużają czas trwania suszenia.

Logika rozmyta pozwala na opracowanie algorytmu „inteligentnego" sterowania przebiegiem procesu suszenia izolacji grzałek form wtryskowych. W przedstawianym poniżej algorytmie tego typu proces suszenia izolacji grzałki będzie realizowany w pętli otwartej jednak program zmian wartości sygnału sterującego jest określony na podstawie rozmytej oceny stopnia zawilgocenia izolacji oraz „podatności" grzałki na osuszanie.

Stopień zawilgocenia izolacji grzałki jest oceniany na podstawie temperatury grzałki (υ) i wartości prądu upływu (I_{up}) płynącego pod wpływem napięcia (U_G) o znanej wartości. Do oceny „podatność" grzałki na osuszanie wykorzystywane są także przyrost temperatury grzałki ($\Delta\upsilon$) i oraz względne spadek wartości prądu jej upływu (δI_{up}) wyznaczone w zadanym odcinku czasu .

Ocena stopnia zawilgocenia grzałki dokonywana jest każdorazowo po rozpoczęciu pracy układu sterowania. W tym celu przez czas t_1 grzałka zasilana jest napięciem U_{G1} o maksymalnej bezpiecznej wartości U_{GB}. Algorytm dwuwejściowego wnioskowania rozmytego (o strukturze pokazanej na rys. 2) na podstawie zmierzonej w tym czasie maksymalnej chwilowej wartość prądu upływu grzałki (I_{upmax1}) oraz jej temperatury (υ_1) wyznacza wartość współczynnika w_1 określającego wartość napięcia U_{G2} którym można bezpiecznie zasilać grzałkę w trakcie kolejnej fazy procesu suszenia (przez czas t_2):

$$U_{G2} = U_{GB} * w_1 \qquad (2)$$

Bezpośrednio po zasileniu grzałki napięciem o wartości U_{G2} określana jest maksymalna chwilowa wartość prądu upływu grzałki (I_{upmax2}) oraz jej temperatura (υ_2).

Po upływie czasiu t_2 - czyli w chwili

$$t_3 = t_1 + t_2 \qquad (3)$$

ponownie określana jest maksymalna chwilowa wartość prądu upływu grzałki (I_{upmax3}) oraz jej temperatura (υ_3) a następnie obliczany jest względnego spadek wartości prądu upływu:

$$\delta I_{up} = (I_{upmax2} - I_{upmax3}) / I_{upmax2} \qquad (4)$$

oraz przyrost temperatury grzałki

$$\Delta\upsilon = \upsilon_3 - \upsilon_2 \qquad (5)$$

Na podstawie wartości współczynnika w_1 oraz δI_{up} i $\Delta\upsilon$ algorytm trójwejściowego wnioskowania rozmytego określa wartość współczynnika w_2 wykorzystywanego do określania kolejnych wartości napięcia zasilającego grzałkę podczas dalszej części jej suszenia:

$$U_{Gi} = U_{Gi-1} + U_{GB} * w_1 * w_2 \ ; \ i=3, 4, .. \qquad (6)$$

Zmiana napięcia zasilającego grzałkę U_G następuje wówczas gdy mierzona przez cały czas chwilowa maksymalna wartość jej prądu upływu spełnia warunek:

$$I_{upmax} <= I_{upgran} \qquad (7)$$

gdzie I_{upgran} to graniczny podczas suszenia prąd upływu grzałki

Oczywiście przez cały suszenia izolacji napięcie U_{Gi} zasilające grzałkę musi spełniać warunek:

$$U_{Gi} <= U_{GB} \ ; \ i=3, 4, .. \qquad (8)$$

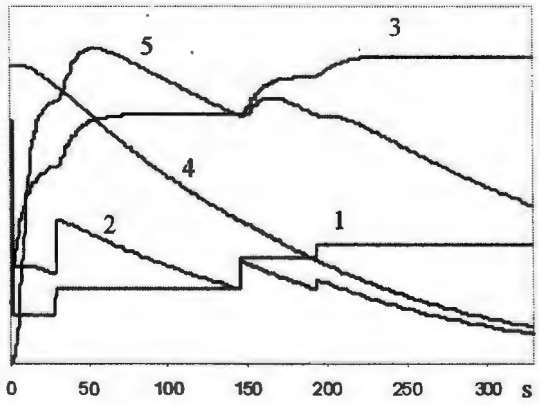
Proces suszenia izolacji kończy się wówczas, gdy maksymalna chwilowa wartość prądu upływu I_{up} zmniejszy się do takiej wartości by można było bezpiecznie eksploatować grzałkę, do której zostanie dołączone pełne napięcie sieci zasilającej:

$$I_{upmax} <= I_{upkon} \qquad (9)$$

Na rys. 8 pokazano przebieg symulowanego procesu suszenia izolacji grzałek sterowany przez opisany powyżej algorytm.

Aby wykorzystać przedstawiany w referacie algorytm rozmytego sterowania procesem suszenia izolacji grzałek rozwiązania sprzętowe układu sterowania, w którym będzie on zaimplementowany musza umożliwiać dokonywanie z dużą częstotliwością (min. 1kHz) pomiaru chwilowych wartości prądu upływu (I_{up}). Tak wysoka

częstotliwość pomiarów wartości tego prądu niezbędna jest do poprawnego określenia jego wartości maksymalnej podczas fazowego sterowania energoelektronicznymi elementami wykonawczymi. Tylko ten sposób sterowania tymi elementami zapewnia bowiem niezbędne - względów bezpieczeństwa – zasilanie grzałki podczas suszenia jej izolacji odpowiednio obniżonym napięciem. W przypadku wykorzystania do budowy regulatora temperatury odpowiedniego mikrokontrolera (np. SIEMENS SAB 80C166) problem ten można rozwiązać wykorzystując wbudowane w procesor sprzętowe mechanizmy obliczeń w tle (tzw. mechanizmy PEC) [2].



Rys. 8. Przebieg „inteligentnego" suszenia izolacji grzałki; 1 – napięcie (U_G) zasilające grzałkę, 2 – maksymalny chwilowy prąd upływu (I_{upmax}), 3 – temperatura (υ) grzałki, 4 – stopień zawilgocenia izolacji, 5 – ciśnienie pary wodnej wewnątrz grzałki.

6. PODSUMOWANIE

Prace nad wykorzystaniem logiki rozmytej w regulatorze temperatury form wtryskowych zostały rozpoczęte w odpowiedzi na zapotrzebowanie zgłoszone z przemysłu. W ich wyniku opracowano trzy algorytmy rozmyte, które zastosowanie pozwala na istotna poprawę jakości sterowania temperaturą form. Wydaje się też, że regulator wyposażony w opisane w referacie algorytmy będzie cieszył się zainteresowaniem użytkowników oraz zwiększy konkurencyjność krajowych producentów urządzeń automatyki przemysłowej.

FUZZY LOGIC CONTROL IN PLASTIC INJECTION MOULDING

The paper deals with fuzzy logic approach applied to temperature control of injection moulds with heated channels. The heaters used there are not airtight and feature a significantly high thermal power. Their easiness to become moistened implies that special drying procedures for heater insulation are to be applied. Such a procedure that makes use of fuzzy logic to assess the extent to which the heater is moistened and its dryability is described in the paper. The paper also includes a fuzzy logic based optimization of settings of a classic PID controller that governs the mould temperature, and gives an algorithm for fuzzy logic auxiliary control. All algorithms presented can be implemented in industrial temperature controllers for injection moulds. The study is rounded off by results of computer simulations.

Literatura

[1] Broel-Plater B. (1997) Rozmyte dostrajanie regulatora PID. *Materiały Konferencji MECHATRONIKA'97*, Warszawa, 27-32.

[2] Broel-Plater B,. Daca W. (2002) Sterowniki programowalne do przetwórstwa tworzyw sztucznych. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej*, seria Autoamtyka, 136,Gliwice, 181-190.

[3] Broel-Plater B., Pietrusewicz K., Skoczowski S. (2004) Anti-windup implementation in a fuzzy-logic model-following robust PID controller. *Proceedings of 2nd IFAC Workshop on Advanced Fuuzy/Neural Control*, Oulu, Finland, 139-144.

[4] Dworak P. (2000) Procedury rozmyte optymalizujące nastawy regulatora PID. *Materiały VIII Konferencji Badania Naukowe w Elektrotermii*, Międzybrodzie Żywieckie, 101-106.

[5] Menges G., Becker H. (1986) *Automatisuerung in der Kunststoffverarbeitung*. Carl Hanser Verlag, Monachium – Wiedeń.

[6] Piegat A. (2001) *Fuzzy Modelling and Control*. Physica-Verlag, Springer Verlag Co. Heidelberg - Nowy Jork.

[7] Sikora R. (1992) *Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych.*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin.

[8] Sikora R. (1993) *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*, Wyd. Edukacyjne, Warszawa.

[9] Skoczowski S. (2000) *Technika regulacji temperatury*. Agenda Wyd., Warszawa.

[10] Skoczowski S., Domek S., Broel-Plater B., Pietrusewicz K. (2003) Robust Model Following PID Contro land Its Implementation on PLC. *Proceedings of 4th IFAC Sympodium on „Robust Control Design"*, Milan Italy.

Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-00-6