ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1983

Seria: AUTOMATYKA z. 66 Nr kol. 752

Andrzej HŁAWICZKA, Maciej NOWIŃSKI
Janusz JEŻEWSKI

MIT 80 - JEDNOKARTOWY MIKROKOMPUTER DO OCENY JAKOŚCI ŻELIW

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólny opis sprzętu i oprogramowania specjalizowanego systemu mikroprocesorowego przeznaczonego do analizy parametrów jakościowych żeliw. Aparatura złożona jest z termoelementu PtRh10-Pt, konwertera A/C oraz mikrokomputera realizującego program analizy wg algorytmu, opartego na bieżącej kontroli temperatury oraz szybkości jej zmian podczas krzepnięcia i krystalizacji próbki stopu. Wyniki analizy, w postaci przewidywanych parametrów mechanicznych odlewu - dostępne w krótkim czasie, umożliwiają podjęcie decyzji o wykonaniu odlewu bądź też o konieczności modyfikacji składu ciekłego metalu dla uzyskania jego wymaganych własności.

W ostatnich latach znaczne zainteresowanie, a także pewne upowszechnienie zdobyła nowa metoda oceny jakości stopów odlewniczych, zwana metodą analizy różniczkowej. Polega ona na zapisie i interpretacji tzw. termicznej i różniczkowej krzywej krzepnięcia i krystalizacji stopu,tj.przebiegów temperatury T oraz szybkości jej zmian dT/dt w czasie stygnięcia próbki ciekłego metalu, pobranej z pieca przed zalaniem formy odlewniczej. Analiza kinetyki i dynamiki procesu krystalizacji umożliwia szybkie wyznaczenie najważniejszych parametrów jakościowych badanego stopu oraz ewentualną korektę warunków wytopu dla uzyskania założonych własności mechanicznych i wytrzymałościowych odlewu.

Możliwości metody analizy różniczkowej są jeszcze dalekie od wyczerpania zarówno pod względem zakresu badań procesu krystalizacji oraz zastosowań technologicznych, jak i w dziedzinie konstrukcji specjalistycznej aparatury badawczej i pomiarowo-kontrolnej. Obydwie dziedziny są, rzecz jasna, wzajemnie ze sobą związane: postęp w badaniach technologicznych, uwarunkowany dostępem do odpowiedniej aparatury, umożliwia konstrukcję urządzeń o coraz lepszym i pełniejszym przetwarzaniu danych pomiarowych. Dlatego rozwijanie zastosowań metody analizy różniczkowej wymaga współdziałania elektroników z technologami; aparatura prezentowana w niniejszym artykule została opracowana w Instytucie Elektroniki przy współpracy Instytutu Odlewnictwa Politechniki Śląskiej. Algorytm takiej analizy,opracowany w Instytucie Odlewnictwa, był wielokrotnie weryfikowany przy wykorzystaniu zarówno specjalnie do tych celów opracowanej aparatury analogo-

gowo-impulsowej CRISTALDIGRAF, jak i urządzeń czysto cyfrowych. Między innymi, w celu zebrania niezbędnych doświadczeń, przeprowadzono wiele pomiarów procesu krystalizacji próbek żeliwa, rejestrując na taśmie perforowanej wartości napięcia termoelektrycznego termoelementu PtRh10-Pt, mierzonego woltomierzem cyfrowym V534 i poddając je następnie obróbce na minikomputerze WANG2200. Wykonano także model cyfrowego systemu analizy jakości stopów z kalkulatorem programowanym HP 9815, udostępnionym specjalnie do tych badań przez firmę HEWLETT-PACKARD. Urządzenie złożone było z kalkulatora HP 9815, firmowego interfejsu BCD HP 98330 oraz specjalizowanego konwertera A/C ze wzmacniaczem wstępnym, przetwarzającego wejściowy sygnał termoelektryczny z czujnika PtRh10-Pt na postać cyfrową.

Tego typu prace wstępne, prowadzone w poprzednich latach, pozwoliły na szczegółowe opracowanie algorytmu analizy, ze szczególnym uwzględnieniem bardzo istotnego problemu filtracji zakłóceń. W trakcie projektowania specjalizowanego systemu mikroprocesorowego należało zaproponować odpowiednie rozwiązania sprzętowe oraz przystosować algorytmy sprawdzone na WANG-u 2200 i kalkulatorze HP 9815 do specyficznych wymagań mikrokomputera. Ponadto, ze względu na prototypowy charakter urządzenia i stosunkowo znaczny stopień jego komplikacji, konieczne było także uwzględnienie metod i środków uruchomiania aparatury zarówno w części sprzętowej, jak i programowej. Wymagało to podjęcia wielu dodatkowych prac, nie związanych bezpośrednio z projektem. Rozpatrzono też wstępnie problemy produkcyjnego, eksploatacyjnego i serwisowego testowania. Z tych powodów powstał projekt w pewnym stopniu nadmiarowy, zawierający elementy zbędne w czasie normalnej eksploatacji, między innymi część sterującą układu oparto na uniwersalnej magistrali MUBUS.

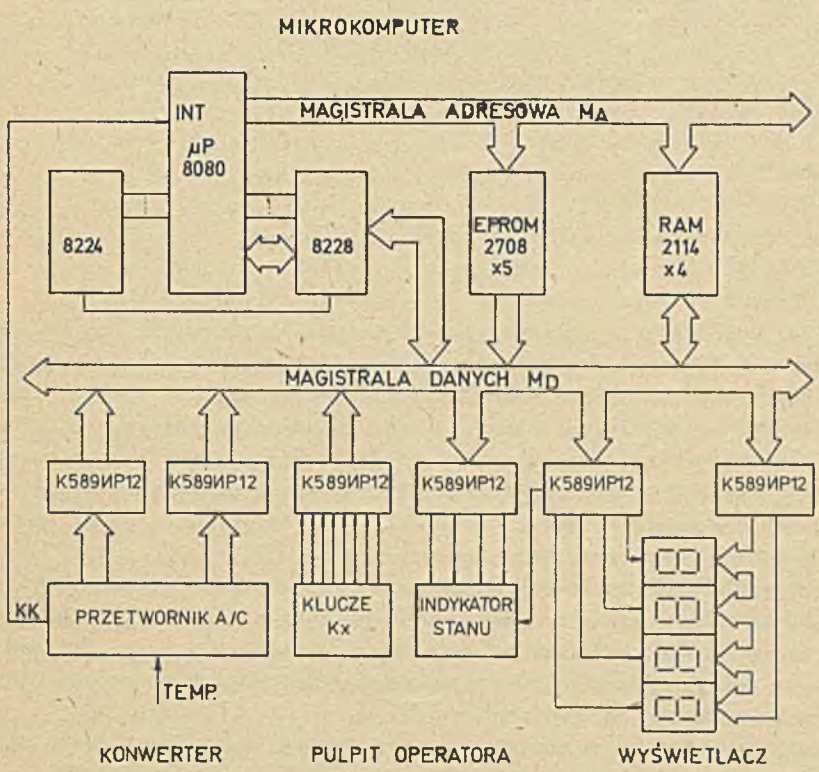
W przyjętych rozwiązaniach układowych toru pomiarowego, jak również w zastosowanych procedurach programowych wiele uwagi zwrócono na zapewnienie jak najsilniejszego tłumienia zakłóceń. Jest to zrozumiałe, jeśli uwzględni się proporcjonalno-różniczkujący charakter realizowanych przekształceń dynamicznych oraz rodzaj sygnału wejściowego, o niskim poziomie (kilkanaście mV) i małej szybkości zmian (rzędu μV/s), przy jednoczesnym wymaganiu rozdzielczości różniczkowania wyrażającej się w nV/s.

MIT 80 - mikroprocesorowy system do analizy krzywych krzepnięcia i krystalizacji próbek stopów odlewniczych dla oceny ich jakości zrealizowano w postaci jednokartowego mikrokomputera. Jego podstawowy schemat blokowy przedstawia rys. 1.

System działa w sposób następujący:

Konwerter A/C przetwarza w równych odstępach czasu (1 sek.) analogowy sygnał termoelektryczny na postać cyfrową i sygnalizuje zakończenie procesu konwersji. Blok mikrokomputerowy, w odpowiedzi na każdy sygnał o końcu konwersji, odczytuje z wyjścia przetwornika A/C wartość temperatury i rozpoczyna analizę odczytanego punktu krzywej krzepnięcia, mającą na celu ustalenie warunków rozpoczęcia obróbki tej krzywej. W chwili stwierdzenia

takich warunków mikrokomputer rozpoczyna przetwarzanie kolejnych punktów zdejmowanej sukcesywnie krzywej stygnięcia według algorytmu różniczkowej analizy procesu krystalizacji. Wynikiem tych operacji jest określenie charakterystycznych parametrów krzywych stygnięcia, takich jak: temperatura likwidusu T_L, temperatura solidusu T_S, wielkość minimum pierwszej pochodnej temperatury po przekroczeniu punktu T_L itp. Wszystkie te pośrednia parametry są pamiętane w pamięci mikrokomputera. Po zakończeniu obróbki każdej kolejnej temperatury wejściowej układ przechodzi do wyświetlania tej temperatury, aż do momentu pojawienia się następnego sygnału końca konwersji z przetwornika A/C. Dzięki bieżącej analizie krzywych stygnięcia próbki stopu nie jest konieczne pamiętanie wszystkich wartości temperatury, co poważnie zmniejsza potrzebną pojemność pamięci RAM oraz skraca proces oceny parametrów jakościowych stopu. Rozwiązanie takie stawia jednak ostre wymagania na szybkość realizacji programu bieżącej obróbki, tak, by mogła się ona zawsze zakończyć w czasie 1s, tzn. przed pojawieniem się następnej wartości temperatury na wyjściu konwertera A/C. Ponadto potrzebna jest także pewna rezerwa czasu - rzędu co najmniej 0,2 s - dla wyświetlenia aktualnej temperatury próbki. Wyświetlanie pozwala na



Rys. 1. Uproszczony schemat ideowy mikrokomputera MIT 80

kontrolę pracy urządzenia i w pewnym stopniu na weryfikację uzyskiwanych wyników; pozwala również na stwierdzenie sytuacji awaryjnych (np.uszkodzenie termoelementu) bez konieczności oczekiwania na koniec obróbki całej krzywej termicznej. Wreszcie możliwość wyświetlania bieżącej temperatury jest bardzo pożądana ze względów serwisowych.

Konieczność bieżącej obróbki każdej kolejnej temperatury implikuje sposób rozwiązania konwertera A/C jako odrębnego, niezależnego modułu urządzenia. Gdyby pomiędzy kolejnymi pomiarami mikrokomputer nie wykonywał programu bieżącej analizy, możliwa byłaby programowa realizacja cyfrowej części przetwornika A/C; pozwoliłoby to na zaoszczędzenie pewnej liczby elementów cyfrowych MSI kosztem zwiększenia wymaganej pojemności pamięci układu. Z kolei jednak przyjęta koncepcja autonomicznego modułu konwertera ułatwia niezależne uruchomianie obu części, pozwala także na znacznie łatwiejszą lokalizację ewentualnych uszkodzeń.

Mikrokomputer przechodzi do wyznaczenia ostatecznych parametrów jakościowych próbki stopu po zakończeniu analizy całej krzywej termicznej i jej pochodnej, a więc po wyznaczeniu ostatniego parametru charakterystycznego krzywych (średniej wartości drugiej pochodnej temperatury po przekroczeniu punktu T_S) lub też - w razie jego niewykrycia - po zarejestrowaniu 300 punktów pomiarowych. W rezultacie, na podstawie określonych poprzednio parametrów charakterystycznych krzywych termicznych i w oparciu o odpowiednie wzory, zostają określone następujące parametry jakościowe analizowanej próbki stopu:

- zawartość węgla C,
- równoważnik węglowy CE,
- współczynnik nasycenia eutektycznego SC,
- wytrzymałość RM,
- twardość HB.

Pulpit operatora urządzenia stanowi zespół 9 przycisków, za pomocą których operator uruchamia cykl pomiarowy, żąda wyświetlenia obliczonych przez mikrokomputer parametrów oraz przeprowadza eksploatacyjne testowanie, zadając rodzaj testu. Pulpit zawiera również wielopozycyjny indykator określający stan pracy, w jakim znajduje się w danej chwili urządzenie - sygnalizujący w szczególności zakończenie procesu obróbki i możliwość przeprowadzenia odczytu. Wskaźnik ten określa także rodzaj wyświetlanego parametru lub rodzaj realizowanego testu.

Do wyprowadzania wyników służy czteropozycyjny wyświetlacz siedmiosegmentowy, sterowany przez mikrokomputer, na którym operator śledzi bieżącą temperaturę, a następnie odczytuje wybrane parametry próbki. Możliwe jest także - w celach kontrolnych - wyświetlanie pośrednich parametrów charakterystycznych krzywych stygnięcia.

Program pracy systemu ma charakter cykliczny. Każdy nowy cykl pomiaru i przetwarzania krzywych inicjuje operator.

Stowarzyszone z mikrokomputerem oprogramowanie, mające realizować analizę i obróbkę poszczególnych punktów krzywej krzepnięcia, jest w swej koncepcji analogiczne do oprogramowania opracowanego dla minikomputera WANG 2200 oraz kalkulatora HP 9815. Występujące w podanych przez Instytut Odlewnictwa Politechniki Śląskiej zależnościach technologicznych takie standardowe funkcje, jak np. tg, ln, funkcje potęgowe itp. postanowiono po normalizacji i rozwinięciu w odpowiednie szeregi sprowadzić do czterech następujących operacji arytmetycznych: dodawania, odejmowania, mnożenia i dzielenia na argumentach podwójnej (2 bajty) lub poczwórnej (4 bajty) precyzji. Przy operacjach o dużej częstotliwości powtarzania obliczeń (np. uśrednienie) dla zwiększenia szybkości zastosowano dedykowane procedury arytmetyczne (np. dzielenie przez stałą).

Współpracę systemu z układem przetwornika pomiarowego oparto na wykorzystaniu mechanizmu przerwań. Układ pomiarowy, dokonując cyklicznego pomiaru temperatury, generuje co 1 sekundę sygnał przerwania, informujący system o ważności danych dostarczanych przez przetwornik A/C. Obsługa przerwania polega na wczytaniu aktualnej temperatury, jej uśrednieniu, obliczeniu pochodnej względem czasu, uśrednieniu pochodnej, ocenie charakteru zmian pochodnej i ewentualnej identyfikacji punktu charakterystycznego oraz na wyświetleniu bieżącej temperatury. Wartość temperatury w kodzie binarnym przetwarzana jest na postać dziesiętną i zaokrąglena do 0,1°C. W zasadzie wystarczające byłoby wyświetlanie temperatury z dokładnością 1°C, jednak dla celów serwisowych, skalowania przetwornika A/C itp., bardziej właściwa jest dokładność 0,1°C. Ponieważ jednak w normalnym zakresie eksploatacyjnym temperatura zawsze przekracza 1000°C, wyświetlane są 4 ostatnie cyfry, a do wskazania zakresu poniżej lub powyżej 1000°C wykorzystano pierwszą kropkę dziesiętną.

Wyświetlanie, na żądanie operatora, obliczonych parametrów realizowane jest po odczycie i przetworzeniu ostatniego punktu pomiarowego krzywej krzepnięcia i krystalizacji i po wykonaniu wymaganych obliczeń. Program sterujący wyświetlaniem zamknięty jest w pętli, w której następuje periodyczne sprawdzanie statusu zespołu kluczy K_x na pulpicie operatora. W momencie wykrycia stanu żądania wyświetlenia parametru x program rozpoczyna cykliczne i sekwencyjne wysyłanie słowa sterującego i danych do rejestrów wyjściowych, połączonych z czteropozycyjnym wyświetlaczem.

Oprogramowanie mikrokomputera uzupełniono dodatkowo o testy uruchomieniowe, eksploatacyjne i serwisowe.

Testy uruchomieniowe i eksploatacyjne tworzą grupę podprogrammów sprawdzających działanie wyświetlacza, pulpitu operatura, konwertera A/C oraz współpracujących z nimi układów mikrokomputera wraz z odpowiednimi fragmentami programu. Testy serwisowe oparte na metodzie analizy sygnaturowej są podprogramami umożliwiającymi wykrywanie i lokalizację uszkodzeń na etapie produkcji i w ramach obsługi serwisowej. Zasadniczym przeznaczeniem programów testujących jest ułatwienie uruchomiania urządzenia oraz możli-

wość szybkiego sprawdzenia jego prawidłowego funkcjonowania w czasie eksploatacji oraz oczywiście uproszczenie serwisu. Każdy test jest podprogramem pracującym w pętli. Wywołanie żądanego testu odbywa się na żądanie operatora za pomocą wspomnianego zespołu kluczy Kx pulpitu operatora. Wyjście z pętli testującej umożliwia przycisk START (RESET) lub wyłącznik urządzenia.

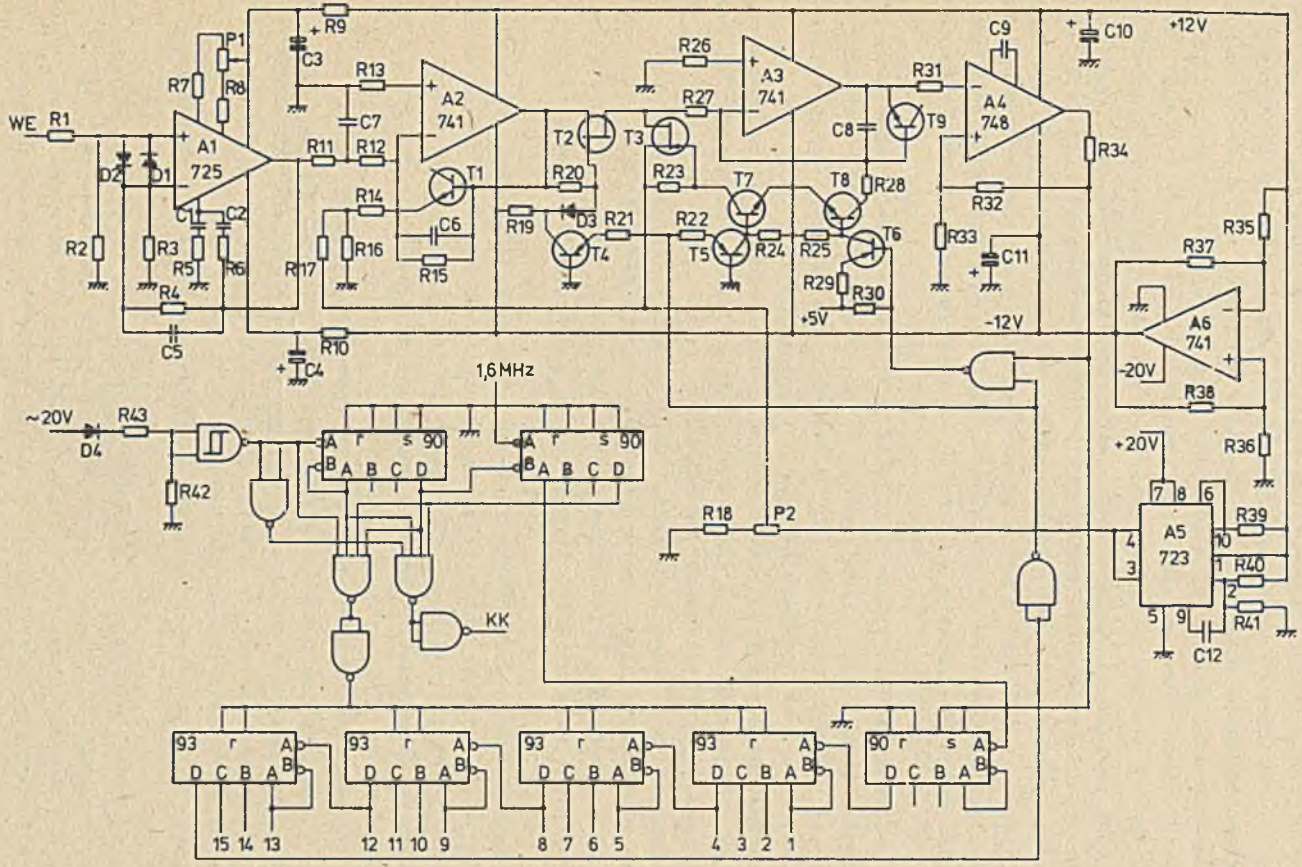
O parametrach użytkowych omawianej aparatury i możliwości jej efektywnego stosowania w przemyśle decyduje w znacznej mierze przetwornik analogowo-cyfrowy. Podstawowe wymagania, stawiane układom pomiarowym dla cyfrowych systemów różniczkowej analizy jakości stopów, są następujące:

- umiarkowana dokładność, rzędu 10^{-3}, przy znacznie lepszej rozdzielczości - rzędu co najmniej 10^{-4};
- jak najsilniejsze tłumienie zakłóceń, zarówno okresowych, jak i impulsowych; ma to zasadnicze znaczenie dla poprawności różniczkowania krzywej stygnięcia;
- nie jest wymagana duża szybkość działania;
- zależnie od stosowanego typu czujnika pomiarowego oraz od zakresu pomiaru temperatury może być pożądana nieliniowa charakterystyka przetwarzania dla skompensowania nieliniowości termoelementu.

Powyższe wymagania, jak również wyniki doświadczalnej eksploatacji dostępnego uniwersalnego przetwornika A/C (stosowano najlepszy krajowy woltomierz cyfrowy V 534) uzasadniają celowość opracowania specjalnego konwertera dla omawianych analizatorów. Próbowany sprzęt ogólnego przeznaczenia odznaczał się - przy niepotrzebnie zbyt dużej szybkości przetwarzania - wyraźnie niewystarczającym tłumieniem zakłóceń, znacznie mniejszym niż specjalnie projektowane układy pomiarowe aparatu CRISTALDIGRAF o podobnym zastosowaniu; również jego rozdzielczość była zbyt mała.

Opracowany i wykonany model konwertera przeznaczony jest do przetwarzania sygnału termoelektrycznego z czujnika PtRh10-Pt. W wystarczającym dla celów analizy różniczkowej żeliw i staliw zakresie pomiarowym 1050-1600°C charakterystyka czujnika może być z dostateczną dokładnością (poniżej 1°C) aproksymowana zależnością liniową. Taką też aproksymację przyjęto w wykonanym modelu, tym bardziej, że linearyzacja charakterystyki termoelementu z dokładnością lepszą od 0,5-0,7°C wymaga znacznej i nieopłacalnej komplikacji układu.

Przetwornik zrealizowano w klasycznym układzie z podwójnym całkowaniem, z dodatkowym cyklem zerującym integrator. Dla uzyskania niezbędnej rozdzielczości wykonano go jako 15-bitowy, z tym że dokładność jest mniejsza, rzędu 10^{-3}, przy zachowanej jednak dużej liniowości właściwego przetwornika. Słowo wyjściowe ma prostą, 15-bitową postać binarną, przy czym najmłodszy bit ma wagę 0,0625°C, a wartość maksymalna jest równa 2048°C, chociaż część analogowa zaprojektowana jest w sposób umożliwiający poprawny pomiar temperatury jedynie do 1700°C. Wymagane ze względu na linearyzację odpowiednie przesunięcie wartości początkowej zakresu pomiarowego zreali-



Rys. 2. Schemat ideowy konwertera A/C

zowano w drugim stopniu wzmacniacza wstępnego. We wzmacniaczu tym zastosowano 3-stopniowy filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej 1 Hz przez wprowadzenie inercyjnego sprzężenia zwrotnego w obydwu stopniach wzmacniacza oraz układu RC, włączonego między stopniami. W wyniku tych zabiegów uzyskano tłumienie zakłóceń sinusoidalnych o częstotliwości 50 Hz równe 100 dB. Przez odpowiedni dobór parametrów czasowych przetwornika A/C (czas całkowania sygnału wejściowego równy około 500 ms) otrzymano całkowite tłumienie zakłóceń sieciowych w torze pomiarowym, sięgające 140 dB, bez konieczności kosztownej synchronizacji czasu całkowania okresem sieci zasilającej, zmieniającym się w stosunkowo dużych granicach. Odpowiednio silne jest również tłumienie zakłóceń impulsowych dzięki przyjęciu duzych wartości stałych czasowych w obwodach wejściowych i w samym konwerterze A/C.

W wykonanym modelu pierwszy stopień wzmocnienia zrealizowano przy użyciu precyzyjnego wzmacniacza μA 725, a jako źródło napięcia odniesienia wykorzystano stabilizator μA 723. W układzie zastosowano także rezystory precyzyjne typu AT, o współczynnikach termicznych 25 i 50 ppm/^{o}C oraz wieloobrotowe potencjometry firmy Beckman, o odpowiedniej stabilności termicznej, długookresowej, a także mechanicznej. Klucze bezstykowe zbudowano na tranzystorach unipolarnych BF245.

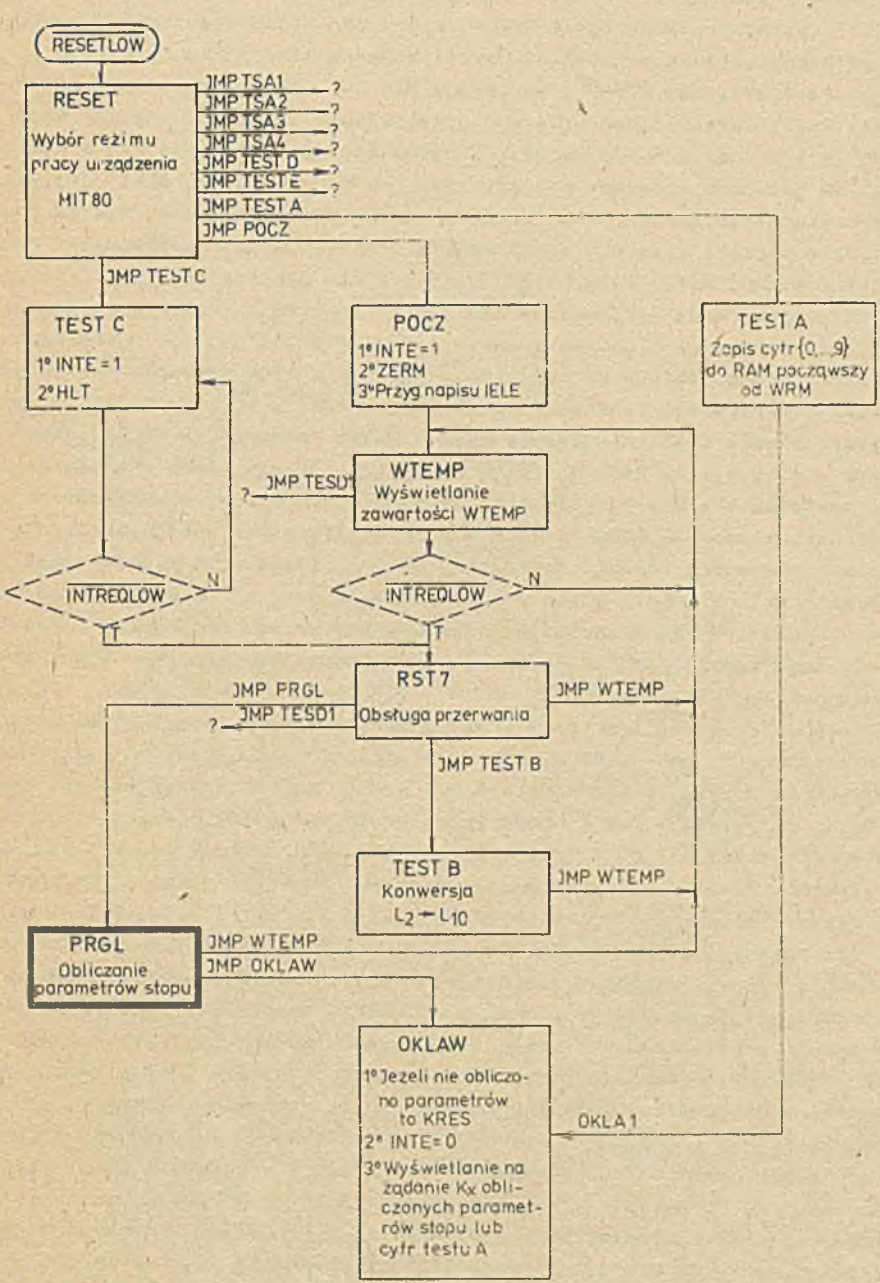
Przeprowadzone badania wykazały dobre parametry konwertera A/C. W zakresie 1050-1600°C błędy pomiaru temperatury nie przekraczają 1°C, a przebieg charakterystyki przetwarzania jest dokładnie zgodny z teoretycznym, wynikającym z nieliniowości termoelementu i przyjętego sposobu linearyzacji.

Dodatkowy uchyb spowodowany zmianami temperatury otoczenia przetwornika o 20°C nie przekraczał w egzemplarzu modelowym 1,5^{o}C; również stabilność długookresowa nie budzi zastrzeżeń. Układ okazał się praktycznie niewrażliwy na silne zawilgocenie, a odporność na zakłócenia okazała się zgodna z zakładaną.

Pomimo stosunkowo dużej prostoty i stosowania typowych elementów (z wyjątkiem precyzyjnych potencjometrów montażowych) układ spełnia bez zastrzeżeń postawione wymagania, a jego parametry są całkowicie zadowalające w odniesieniu do metody analizy różniczkowej krzywych krzepnięcia i krystalizacji stopów odlewniczych.

Ogólny schemat blokowy programu mikrokomputera MIT 80 przedstawia rysunek 3.

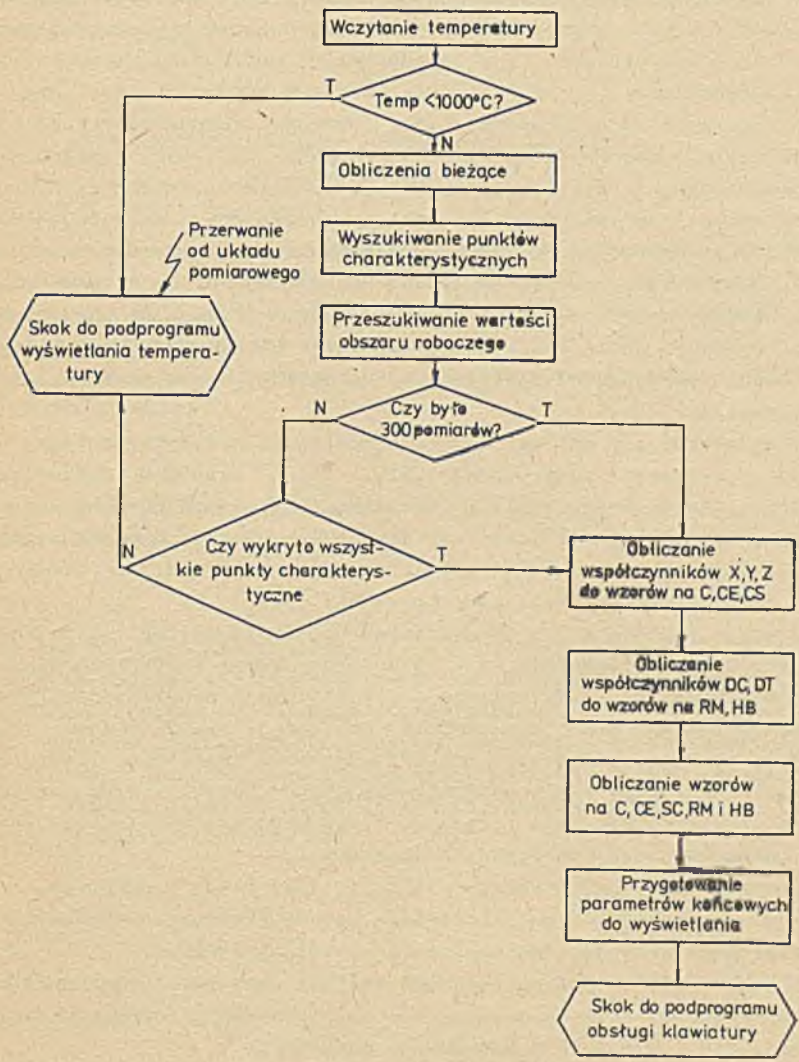
Po wygenerowaniu sygnału RESETLOW mikrokomputer przechodzi do realizacji podprogramu RESET, którego najistotniejszym zadaniem jest wykrycie w oparciu o status kluczy Kx reżimu pracy, w jaki operator chce wprowadzić MIT 80. Głównym trybem pracy MIT 80 jest realizacja programu PRGL analizy termicznej i różniczkowej krzywej stygnięcia i krystalizacji próbki stopu. Jeżeli podprogram RESET wykrył ten reżim, wówczas dokonuje on skoku do podprogramu POCZ, który odblokowuje wejście żądania przerwania



Rys. 3. Ogólny schemat blokowy programu mikrokomputera MIT 80

INT w μP i korzysta z podprogramu usługowego ZERM, zerującego jedną stronę pamięci RAM. Następnie PGCZ przygotowuje dane do wyświetlania napisu I.ELE i wchodzi w podprogram WTEMP, który ten napis wyświetla dynamicznie na czteropozycyjnym wskaźniku. Sygnał żądania przerwania INTREQLOW przerywa pracę programu WTEMP i wprowadza MIT 80 w podprogram obsługi przerwania RST7. Jeżeli ilość przerwań przekroczyła liczbę 4, wówczas RST7 odczytuje z konwertera A/C wartość binarną mierzonej temperatury i wykonuje skok do głównego programu analizy PRGL. Po dokonaniu obróbki odczytanej temperatury następuje powrót do podprogramu WTEMP, który wyświetla przygotowaną w postaci kodu BCD przez PRGL wartość bieżącą temperatury. Proces w pętli WTEMP, RST7, PRGL, WTEMP powtarza się cyklicznie (co 1 sekundę) aż do momentu zidentyfikowania wszystkich punktów charakterystycznych analizowanych krzywych lub też momentu odczytania 300 kolejnych wartości temperatury próbki stopu. Po spełnieniu jednego z tych warunków następuje obliczenie parametrów końcowych (podprogram PRGL) i przejście do obsługi klawiatury w celu umożliwienia ich wyświetlania (podprogram OKLAW). OKLAW najpierw analizuje czy PRGL obliczył parametry. Jeżeli wynik analizy wskazuje, że parametry nie zostały obliczone, wówczas OKLAW korzystając z podprogramu usługowego KRES wyświetla poziome kreski na wskaźniku. Jeżeli natomiast parametry zostały obliczone, wówczas OKLAW pomija podprogram KRES i przechodzi do OKLA1, gdzie po zablokowaniu wejścia żądania przerwania dynamicznie wyświetla na indykatorze wybrany przez operatora parametr. Realizacja podprogramu OKLAW trwa nieprzerwanie do momentu wygenerowania ponownego sygnału RESETLOW.

Dwoma dodatkowymi reżimami pracy urządzenia MIT 80 jest praca w teście A lub teście C. Oba testy pełnią rolę pomocniczą i służą do sprawdzenia poprawnego działania konwertera A/C, kluczy Kx, czteropozycyjnego wyświetlacza, rejestrów WE/WY i niektórych innych elementów. Jeżeli podprogram RESET wprowadzi MIT 80 w tryb pracy w teście A, wówczas podprogram TESTA w obszarze pamięci RAM przeznaczonym na przechowanie obliczonych przez PRGL parametrów stopu zapisuje dane do wyświetlania cyfr 1,2,...,9,0 oraz kropki dziesiętnej. TESTA kończy się skokiem do fragmentu OKLA1 podprogramu OKLAW, w którym, podobnie jak opisano wyżej, następuje obsługa kluczy Kx i wyświetlanie na wskaźniku odpowiednich cyfr. Realizacja podprogramu OKLAW w reżimie testu A również trwa nieprzerwanie do chwili wygenerowania sygnału RESETLOW. W reżimie pracy w teście C podprogramu TESTA odblokowuje wejście żądania przerwania i wprowadza μP w stan HALT, w którym μP oczekuje na sygnał INTREQLOW. Pierwszy sygnał INTREQLOW wyprowadza μP z tego stanu i wprowadza MIT 80 do podprogramu obsługi przerwania RST7, który po wykryciu, że urządzenie pracuje w trybie testu C, dokonuje skoku do podprogramu TESTB. Zadaniem podprogramu TESTB jest odczyt z konwertera A/C binarnej wartości mierzonej temperatury i dokonanie jej konwersji do postaci BCD. Po zrealizowaniu tych operacji następuje skok do podprogramu WTEMP, który steruje wyświetlaniem wartości zmierzonej temperatury. Wy-



Rys. 4. Ogólny schemat blokowy programu PRGL

świetlanie temperatury trwa do momentu pojawienia się następnego sygnału żądania przerwania. Praca w pętli INTREQLOW, RST7, TESTB, WTEMP,INTREQLOW trwa do chwili wygenerowania sygnału RESETLOW.

Podprogram PRGL jest najbardziej złożonym fragmentem całego programu mikrokomputera MIT 80. Sterowanie w tym podprogramie przedstawia schemat na rys. 4. Po sprawdzeniu czy aktualna temperatura jest większa od 1000°C (temperatury niższe są pomijane), następuje wykonanie bieżących obliczeń dla wczytanej temperatury, tj. uśrednienie i obliczenie pochodnej temperatury względem czasu. W oparciu o aktualnie wczytaną wartość temperatury oraz na podstawie zapamiętanych kilku wartości temperatury i pochodnych wcześniejszych przeprowadzona zostaje analiza, czy dana temperatura lub jej pochodna spełniają kryteria jednego z punktów charakterystycznych.Kolejnym krokiem jest uaktualnienie zbioru temperatur i pochodnych wstecznych, które sprowadza się do przesunięcia zawartości odpowiedniego obszaru roboczego. W sytuacji,gdy liczba pomiarów temperatury przekroczyła 300 lub gdy zidentyfikowano wszystkie punkty charakterystyczne krzywych następuje wyjście z pętli analizującej pomiary. W części końcowej podprogramu obliczane są najpierw współczynniki do wzorów, a następnie właściwe parametry analizy.

Przy opracowywaniu opisywanego oprogramowania wprowadzono testy uruchomieniowe i serwisowe podprogramy TESTD, TESTE oraz podprogramy analizy sygnaturowej TSA1, TSA2, TSA3, TSA4. Ze względu na ich pomocniczą rolę w urządzeniu MIT 80 nie przedstawiono ich na schemacie blokowym programu (rys. 3). Schemat ten zawiera jedynie informację, które jego bloki współpracują z wyżej wymienionymi podprogramami.

Podprogram TESTD steruje sprawdzaniem działania całego mikrokomputera MIT 80 bez udziału konwertera A/C. W odrębnej pamięci EPROM zarejestrowana jest wzrocowa krzywa stygnięcia i krystalizacji próbki stopu.TESTD omijając konwerter A/C steruje w sposób programowy sekwencyjnym odczytem wszystkich punktów pomiarowych tej krzywej i ich analizą w podprogramie PRGL. Test ten kończy się w podprogramie OKLAW, dzięki któremu obliczone, na bazie wzorcowej krzywej, parametry stopu mogą być wyświetlone na wskaźniku i porównane przez operator z wzorcowymi.

Podprogram TESTE pełni identyczną rolę, jaką pełni podprogram TESTD. Różnica polega na odmiennym, sterowanym metodą przerwaniową,odczycie punktów pomiarowych krzywej przechowywanej w pamięci EPROM.

Podprogramy TSA1 - TSA4 są typowymi testami umożliwiającymi analizę sygnaturową urządzenia MIT 80 zarówno w trybie swobodnego obiegu przestrzeni adresowej, jak i w trybie programowego pobudzania.

Cały program, poza testami uruchomieniowymi i serwisowymi, zajmuje objętość 3kB i mieści się w trzech elementach 2708. Czwarty element 2708 zawiera TESTD, TESTE i podprogramy TSA1, TSA2, TSA3 i TSA4. Element ten nie wchodzi na stałe w skład urządzenia MIT 80. Jest on używany jedynie w trakcie produkcyjnego uruchamiania mikrokomputera MIT 80 lub przez inżyniera obsługi serwisowej.

Przedstawione w wielkim uproszczeniu urządzenie MIT 80 zostało skonstruowane i przebadane w wersji modelowej. Przeprowadzone pomiary wykazały całkowitą przydatność aparatury do oceny jakości stopów odlewniczych metodą analizy termicznej i derywacyjnej. Potwierdziły to również badania próbek stopu przeprowadzone w odlewni Instytutu Odlewnictwa Politechniki Śląskiej. Obecnie przygotowywana jest w ZUAP w Sosnowcu seryjna produkcja opisanego mikrokomputera MIT 80.

МИТ 80 - МИКРОКОМПУТЕР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ЧУГУНА

Р е з ю м е

В статье представлено реализацию системы для определения качества чугуна. Система состоит из термоэлемента, преобразователя напряжение - код и микропроцессора 8080. Программа основывается на анализе диаграммы процесса остывания и кристаллизации текучего металла.

Результаты анализа разрешают контролировать механические свойства чугуна в процессе отливки.

MIT 80 - A SINGLE-BOARD MICROCOMPUTER FOR THE DETERMINATION OF CAST IRON QUALITY

S u m m a r y

System for the determination of grey cast iron quality is presented. The system consists of the PtRh10-Pt thermocouple probe, A/D converter and microcomputer based on the 8080 microprocessor.

The applied program is based on the derivative analysis of crystallization curves of the examined liquid alloy and the quickly received results of the analysis allow to carry on the alloying with closely controlled mechanical properties of the cast.