

mgr inż. Tomasz Jedwabny  
mgr inż. Jarosław Wąsikowski  
mgr inż. Grzegorz Wiczyński  
Politechnika Poznańska

## Charakterystyka układu pomiarowo-sterującego w procesie wyciskania materiałów nadplastycznych

**Streszczenie:** Utrzymanie materiału w stanie nadplastycznym wymaga stabilizacji wartości jego temperatury i prędkości odkształcania w dopuszczalnym przedziale. W procesie wyciskania nadplastycznego stanowi to podstawowy problem w praktycznym jego wykorzystaniu. Wynika to z wymaganej odpowiednio małej prędkości odkształcania i zachowania temperatury materiału nadplastycznego w trakcie całego procesu kształtowania.

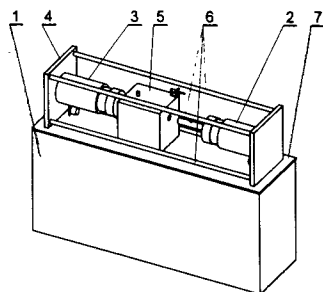
**Abstract:** To keep the superplasticity state of formed material, the temperature and deformation speed must be controlled and stabilized. These conditions are a serious problem in practice of superplastic extrusion. It is caused by extremely low speed of extruding punch and stabilizing temperature in narrow range during the long term extrusion process.

### 1. WSTĘP

Nadplastyczność jest do zdolność do podlegania wielkim odkształceniom plastycznym bez naruszenia wewnętrznej spójności, pojawiająca się w wysokich temperaturach homologicznych pod wpływem naprężeń, których wartość jest odpowiednio mała i silnie zależna od prędkości odkształcania [1, 2]. Dlatego układ pomiarowo-sterujący prasy hydraulicznej w procesach kształtowania nadplastycznego powinien umożliwiać pomiar i wymuszenie bardzo małych prędkości posuwu suwaka oraz utrzymywanie temperatury materiału w zadanym przedziale wartości.

### 2. BUDOWA PRASY

Badania związane z procesem wyciskania nadplastycznego przeprowadzono na specjalnie przygotowanej w tym celu prasie hydraulicznej PHP20 [4]. Konstrukcja układu hydraulicznego prasy umożliwia uzyskiwanie wymaganych prędkości posuwu suwaka.



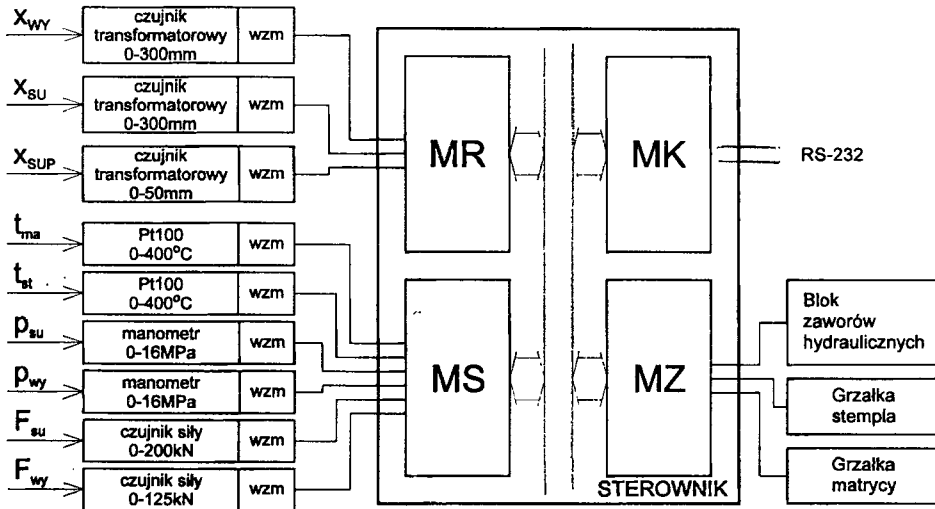
Rys. 1  
Widok prasy hydraulicznej PHP20

Doświadczalna prasa hydrauliczna PHP20 (rys. 1) do wyciskania posiada dwa siłowniki: napędu suwaka (2) i napędu wyrzutnika (3), pracujące w układzie poziomym. W korpusie (1) znajdują się elementy układu hydraulicznego, zbiornik oleju, silnik elektryczny oraz układ elektryczny. Na korpusie spoczywa płyta podstawy (7), do której mocowane są płyty wspornikowe (4) (łączone ściągaczami (6)) oraz zespół narzędziowy (5).

Układ hydrauliczny prasy umożliwia regulację prędkości ruchu suwaka dzięki zastosowaniu regulatora przepływu i zaworu przelewowego [3]. Regulację prędkości uzyskuje się przez tłumienie wypływu oleju z siłownika. Rozdzielacze hydrauliczne sterują ruchem wolnym (roboczym), szybkim (dosuwem), powrotem suwaka oraz ruchami wyrzutnika.

### 3. SCHEMAT BLOKOWY UKŁADU POMIAROWO-STERUJĄCEGO

Układ pomiarowo-sterujący prasy PHP20 dokonuje pomiarów i rejestracji wybranych wielkości oraz steruje elementami wykonawczymi. Zarejestrowane wyniki pomiarów transmitowane są do komputera PC IBM gdzie podlegają wizualizacji, analizie i archiwizacji. Wartość prędkości suwaka  $v_{sup}$  określana jest na podstawie sygnału  $x_{sup}$ . Do zgrubnego określania położenia suwaka i wyrzutnika wykorzystywane są odpowiednio sygnały:  $x_{su}$  i  $x_{wy}$ . Zgrubne położenie suwaka pozwala na optymalne sterowanie ruchem suwaka. Ze względu na małe prędkości w trakcie wyciskania (ruch wolny) korzystny jest dosuw suwaka (ruchem szybkim) możliwie najbliżej materiału. Pomiar siły nacisku suwaka i wyrzutnika realizowany jest bezpośrednio. Tensometryczne czujniki siły umieszczone są bezpośrednio w osi ruchu odpowiednio: suwaka i wyrzutnika. Zastosowana metoda stabilizacji prędkości suwaka oraz konieczność wykorzystania siłownika z uszczelkami teflonowymi o podwyższonej szczelności (a tym samym o zwiększonych siłach tarcia) i trudności w ocenie sił tarcia (praca na granicy spoczynkowych i ruchowych sił tarcia) nie pozwalają na wykorzystanie wartości ciśnienia w cylindrze siłownika do obliczenia wartości siły nacisku suwaka. Do pomiaru ciśnień wykorzystano manometry z czujnikami tensometrycznymi. Pomiar temperatur zrealizowano czujnikami rezystancyjnymi Pt100.



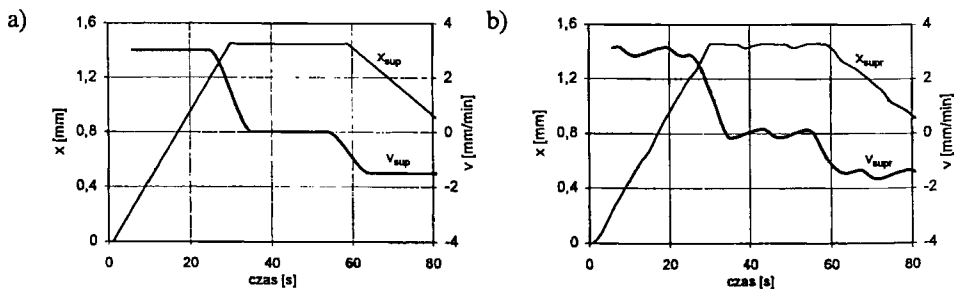
Rys. 2 Schemat blokowy układu pomiarowo-sterującego prasy PHP20: MS - moduł sterownika, MR - moduł rozszerzenia, MZ - moduł zasilacza, MK - moduł klawiatury

#### 4. SPECYFIKA POMIARÓW I STEROWANIA W PROCESACH KSZTAŁTOWANIA NADPLASTYCZNEGO

Niektóre stopy, szczególnie aluminium, miedzi i cynku, po spełnieniu pewnych warunków mogą być kształtowane w stanie nadplastycznym. Kształtowanie w tym stanie pozwala na uzyskanie dużych odkształceń przy zastosowaniu kilkukrotnie mniejszego nacisku. Dzięki temu zmniejsza się ilość zabiegów technologicznych i tym samym koszt wyrobu. Utrzymanie materiału w stanie nadplastycznym wymaga odpowiedniej prędkości odkształcania (prędkości suwaka  $v_{sup}$ ) i temperatury obrabianego materiału  $t_{ma}$ . Założono możliwość zadawania prędkości suwaka  $v_{sup}$  od 0.5 do 10 mm/min i utrzymywanie temperatury  $t_{ma}$  w przedziale  $230 \pm 270^\circ\text{C}$ . Prędkość suwaka zadawana jest ręcznie sterowanym regulatorem przepływu.

##### 4.1. Pomiar prędkości suwaka $v_{sup}$

Ocena prędkości odkształcania wyciskanego materiału wymaga pomiaru prędkości liniowej suwaka względem matrycy. Przyjmując jako punkt odniesienia matrycę prędkość określana jest na podstawie zmienności położenia suwaka w czasie. Dla prędkości  $v_{sup}=0,5$  mm/min zmiana położenia suwaka w czasie  $\Delta t=1$ s wynosi  $\Delta l=8,3\mu\text{m}$ . Jest ona porównywalna z rozdzielczością toru pomiarowego położenia suwaka i amplitudą drgań mechanicznych prasy. Dlatego pośredni pomiar prędkości na podstawie zależności  $v=\Delta l/\Delta t$  jest znacznie utrudniony. Wiarygodne określenie wartości prędkości suwaka wymaga albo zastosowania czujnika położenia o bardzo dużej rozdzielczości albo odpowiedniego przetworzenia danych z czujnika. Ponieważ zastosowano transformatorowy czujnik położenia suwaka możliwe jest tylko drugie rozwiązanie. W tym celu zmierzone położenie suwaka  $x_{sup}$  (na podstawie wartości napięcia ze wzmacniacza pomiarowego współpracującego z czujnikiem transformatorowym) jest co 1 sekundę zapisywane do n-elementowej tablicy z zachowaniem następstwa czasowego. Następnie za pomocą regresji liniowej określana jest wartość nachylenia a prostej  $ax+b$ . Zastosowanie regresji liniowej do wyznaczania wartości prędkości  $v_{sup}$  pozwala określać prędkość przy zmianach położenia suwaka nieco większych od rozdzielczości z jaką określane jest położenie suwaka. Dodatkowo ograniczany jest wpływ szumów i zakłóceń. Jednak w stanie nieustalonym (tj.  $(\Delta v_{sup}/\Delta t) \neq 0$ ) powstaje błąd dynamiczny uzależniony od prędkości zmian prędkości. Na rysunku 3 przedstawiono przykładową symulację przebiegu czasowego położenia suwaka  $x_{sup}$  i jego prędkości  $v_{sup}$ . Przebiegi czasowe wartości  $x_{sup}$  i  $v_{sup}$  symulują określanie prędkości z pominięciem zakłóceń, przebiegi  $x_{supr}$  i  $v_{supr}$  symulują określanie prędkości z uwzględnieniem zakłóceń. Ograniczona stromość przebiegu prędkości jest dowodem występowania błędu dynamicznego w stanach nieustalonych.



Rys. 3 Wyniki symulacji określania prędkości z wykorzystaniem regresji liniowej

Źródłem zakłóceń są błędy przetwarzania w torze analogowym i cyfrowym (w szczególności niemonotoniczność przetwornika A/C), oddziaływanie elektromagnetyczne obwodów zasilania prasy oraz drgania mechaniczne. Drgania mechaniczne wywołane są pracą zespołu silnik-pompa hydrauliczna oraz przepływem cieczy w obwodach hydraulicznych. Ze względu na małe prędkości, nieciągłość ruchu suwaka może wynikać ze zmienności siły tarcia. Spowodowane jest to zależnością współczynnika tarcia (np. dla skojarzenia stal-stal tarcie ruchowe  $\mu_r=0,10$  oraz tarcie spoczynkowe  $\mu_s=0,17$ , dla skojarzenia stal-teflon tarcie ruchowe  $\mu_r=0,04$  oraz tarcie spoczynkowe  $\mu_s=0,09$  [5]).

## 4.2. Pomiar i regulacja wartości temperatury wyciskanego materiału

Pomiar temperatury obrabianego materiału dokonywany jest pośrednio poprzez pomiar temperatury matrycy. Przyjęty sposób pomiaru wynika z niemożności umieszczenia czujnika bezpośrednio w wyciskanym materiale oraz z ograniczeń wynikających z wytrzymałości materiałowej matrycy. Celem pomiaru temperatury w otworze w matrycy umieszczono czujnik Pt100. Wiarygodne określenie temperatury materiału wymaga, aby uzyskać równomierne pole temperatur w kształtowanym materiale i w matrycy. Dlatego niezbędne jest czas oczekiwania na wyrównanie temperatur materiału i matrycy. Skrócenie czasu oczekiwania jest możliwe po uprzednim podgrzaniu materiału do wymaganej temperatury. Bardzo istotny jest dobór sterowania temperaturą matrycy (materiału) w celu uzyskania temperatur w możliwie najmniejszym przedziale wartości. Walcowa konstrukcja matrycy i osadzenie grzałek wykonanych w postaci płaszcza bezpośrednio na niej polepszają równomierność pola temperatur. Możliwe są następujące sposoby sterowania temperaturą matrycy:

1. Regulacja dwupołożeniowa
2. Regulacja dwupołożeniowa z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym (np. histereza ujemna)
3. Regulacja niby-ciągła

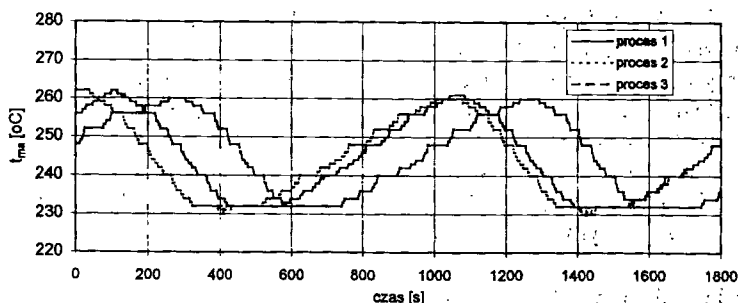
W dalszej części omówiono zastosowanie regulacji dwupołożeniowej.

### 4.2.1. Regulacja dwupołożeniowa

Regulacja dwupołożeniowa temperatury matrycy polega na cyklicznym załączaniu i wyłączaniu grzałki matrycy w zależności od różnicy wartości zadanej i temperatury matrycy. Cykliczne załączanie i wyłączanie grzałek wywołuje oscylacje temperatury. Stanowią one podstawową niedogodność regulacji dwupołożeniowej. W przypadku obiektów o inercji większej od 1 występują oscylacje. Wystąpienie oscylacji o zbyt dużych amplitudach uniemożliwiają praktyczne wykorzystanie regulatorów dwustanowych.

### 4.2.2. Przykładowe przebiegi czasowe temperatury $t_{ma}$

Ponieważ matryca charakteryzuje się znacznie większą pojemnością cieplną od kształtowanego materiału, o dynamice układu matryca-materiał decyduje charakterystyka matrycy. Dlatego przebiegi czasowe temperatur dla różnych procesów są podobne. Uzyskane przebiegi czasowe temperatury  $t_{ma}$  mieszczą się w dopuszczalnym przedziale wartości 230÷270°C. Jednak uzasadnione jest zastosowanie jednego z dwóch pozostałych sposobów sterowania w celu zmniejszenia amplitudy oscylacji temperatury. Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi czasowe temperatury matrycy dla trzech przykładowych procesów wyciskania przy zadanych progach regulatora dwustanowego  $t_{ma1}=245^\circ\text{C}$  i  $t_{ma2}=255^\circ\text{C}$ .



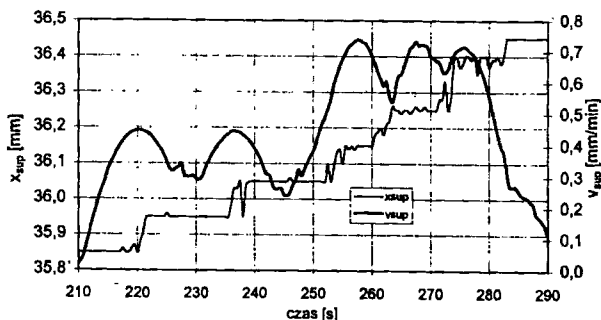
Rys. 4 Przykładowe przebiegi czasowe temperatury matrycy  $t_{ma}$

## 5. STEROWNIK MIKROPROCESOROWY

Sterownik jest specjalizowanym układem mikroprocesorowym o modularnej budowie. Składa się z czterech modułów: sterownika MS, zasilacza MZ, rozszerzenia MR i klawiatury MK. Moduł sterownika realizuje sterowanie prasą zgodnie z przyjętym algorytmem, obsługuje kanał łączności RS-232 i umożliwia pomiar sygnałów analogowych w sześciu kanałach. Moduł zasilacza zasila pozostałe moduły sterownika, dokonuje akwizycji sygnałów dwustanowych kanałami wejść/wyjść oraz generuje wyjściowe sygnały analogowe. Kanały wejść/wyjść oraz wyjść analogowych są odizolowane galwanicznie od pozostałej części sterownika. Moduł rozszerzenia umożliwia pomiar sygnałów analogowych w trzech kanałach. Moduł klawiatury dokonuje wizualizacji sygnałów ze sterownika na wyświetlaczu LCD i diodach LED oraz umożliwia wprowadzanie danych do sterownika poprzez 15-stykową klawiaturę.

## 6. WYNIKI POMIARÓW

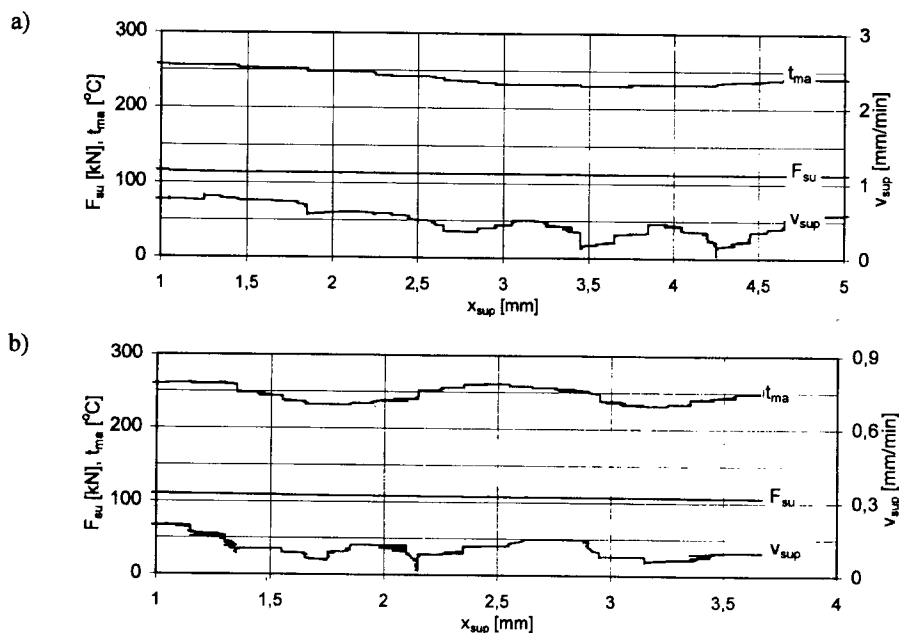
Na rysunku 5 przedstawiono przebieg czasowy położenia  $x_{sup}$  i prędkości  $v_{sup}$  suwaka dla przykładowego, rzeczywistego procesu. Na przebiegu czasowym widoczne jest oddziaływanie zakłóceń. Powodują one niestabilność w określaniu wartości prędkości  $v_{sup}$ .



Rys. 5 Przebieg czasowy prędkości  $v_{sup}$  dla przykładowego procesu

Na rysunku 6 przedstawiono wykresy zależności prędkości  $v_{sup}$  i siły nacisku  $F_{su}$  suwaka oraz temperatury matrycy  $t_{ma}$  od położenia suwaka  $x_{sup}$  dla dwóch przykładowych procesów wyciskania puszek cienkościennej. W trakcie procesu utrzymywana jest stała wartość nacisku suwaka  $F_{su}$ . Świadczy to o prawidłowej stabilizacji temperatury wyciskanego materiału oraz o

spełnieniu warunku wynikającego z dopuszczalnej prędkości odkształcania. W przykładowych procesach zadano wartości graniczne wartości prędkości suwaka  $v_{sup}$  (ze względu na możliwości układu hydraulicznego). Dlatego nie uzyskano zbyt dobrej jakości stabilizacji prędkości. Jednak wystarczyło to dla uzyskania zjawiska nadplastyczności.



Rys. 6 Zależność prędkości  $v_{sup}$  i siły nacisku  $F_{su}$  suwaka oraz temperatury matrycy  $t_{ma}$  w zależności od położenia suwaka  $x_{sup}$  dla dwóch przykładowych procesów

## 7. PODSUMOWANIE

W trakcie przeprowadzonych procesów wyciskania wystąpiło zjawisko nadplastyczności. Na podstawie analizy zarejestrowanych wyników i oceny jakości uzyskanego wyrobu stwierdzono, że przyjęty sposób pomiarów wielkości opisujących proces kształtowania jest prawidłowy. Uzasadniona jest jednak modyfikacja oceny prędkości suwaka  $v_{sup}$  w celu zwiększenia odporności na zakłócenia.

## LITERATURA

- [1] Grabski M.W., *Nadplastyczność strukturalna metali*, Wydawnictwo Śląsk Katowice 1974.
- [2] Rosenhain W., Haughton J. L., Bingham K. E., *Zinc alloys with aluminium and copper*. J. Inst. Metals 1920, t. 23.
- [3] Ławniczak A., *Napędy hydrauliczne liniowe o małych prędkościach*, Wydawnictwo P.P., Rozprawy, Poznań 1984.
- [4] Jedwabny T., Wąsikowski J., Wiczyński G., *Kryteria doboru punktów i przetworników pomiarowych do analizy procesu wyciskania w zakresie nadplastyczności na doświadczałnej prasie hydraulicznej*, *Obróbka plastyczna metali*, T. VII, nr 5, 1996, s. 29÷34.
- [5] Hebda M., Wachal A., *Trybologia*, WNT, Warszawa 1980.