

AUTOMATYZACJA PROCESU ZALEWANIA FORM POLIURETANEM

Streszczenie:

Uzyskanie wymaganej jakości odlewów z pianki poliuretanowej, szczególnie w technice motoryzacyjnej wymaga od producentów stosowania zautomatyzowanych procesów technologicznych. W publikacji przedstawiono poglądowo konstrukcję stosunkowo taniego zautomatyzowanego stanowiska do zalewania form pianką poliuretanową.

Abstract:

Obtaining high quality polyurethane foam casts, especially in motorization, makes producers to use automated manufacturing processes. In this publication there is presented construction of rather inexpensive automated stand for pouring polyurethane foam into moulds. Also basic tasks for steering software, algorithms of building system model and method of controlling manufacturing processes are described.

1. WPROWADZENIE

Kryteria oceny jakości wykonania siedzeń samochodowych stawiają przed producentami odlewów z pianki poliuretanowej bardzo wysokie wymagania. Sprostowanie tym wymaganiom wymaga utrzymania bardzo ostrego reżimu technologicznego. Jakość produktu uzależniona jest od wielu warunków. Jednym z podstawowych jest specyficzny sposób zalewania form. Metoda ręcznego zalewania przez robotników powoduje powstawanie około 20%-30% braków.

Ceny specjalistycznych robotów rozprowadzanych przez firmy zajmujące się automatyzacją stanowisk do zalewania form pianką poliuretanową (np. ELASTOGRAN) znacznie przekraczają możliwości finansowe polskich prywatnych przemysłowców.

Przedsiębiorstwo Wdrożeniowe ABWAK z Poznania przy współpracy z Instytutem Informatyki Politechniki Poznańskiej wykonało stanowisko do zalewania form pianką poliuretanową. Stanowisko to spełnia podstawowe wymagania technologiczne oraz co istotne jest stosunkowo tanie.

2. KONSTRUKCJA STANOWISKA I PROCES TECHNOLOGICZNY

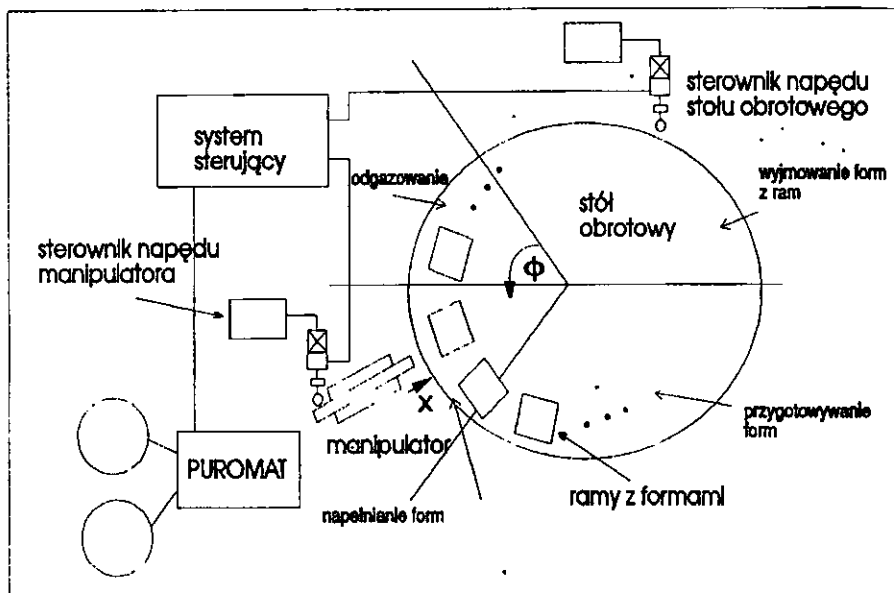
Stanowisko do zalewania form pianką poliuretanową składa się z kilku podstawowych elementów:

- stołu obrotowego,
- ram z formami, manipulatora,
- sterowań napędami stołu i manipulatora,
- sterowań zamykaniem form,
- mikrokomputerowego systemu sterowania,
- urządzenia wytwarzającego piankę poliuretanową.

Na stole obrotowym o średnicy ok. 10m i wadze 12 ton zamontowane są ramy z formami. Maksymalnie 24 ramy mogą być zamontowane na stole. W każdej z ram można zamontować 2 formy. Formy są różnych kształtów w zależności od wykonywanych odlewów. Po zalaniu form

ramy automatycznie szczelnie się zamykają. Czas pozostawania w zamknięciu ram jest ustalany w zależności od rodzaju wykonywanego odlewu. Sterowanie pracą ram jest pneumatyczne. Wokół stołu można wyróżnić cztery funkcyjne miejsca pracy:

- ◆ - przygotowywanie form,
- ◆ - zalewanie form,
- ◆ - odgazowanie,
- ◆ - wyjmowanie odlewów.



Rys.1. Schemat funkcjonalny procesu zalewania form poliuretanem

Na stanowisku przygotowania form robotnik oczyszcza formy, spryskuje je specjalnym środkiem woskowym oraz montuje niezbędne dla danego rodzaju odlewu akcesoria np. pręty metalowe, kawałki materiałów ułatwiające pracę tapicerom.

Następnie każda z form jest zalewana. Sposób i czas lania określany jest przez technologa zakładu. Proces zalewania odbywa się automatycznie. Do tego celu wykorzystywany jest ruch stołu i manipulatora. System umożliwia zalewanie form wg. kilku sposobów:

- * - lanie w punkcie,
- * - lanie po promieniu stołu,
- * - lanie po łuku stołu,
- * - lanie po prostej,
- * - lanie po zygzaku,
- * - lanie odcinkami.

Lanie w punkcie występuje kiedy stół i manipulator stoją nad punktem lania ($\omega = \text{const}$ $v = \text{const}$). Lanie po promieniu stołu ma miejsce kiedy stół stoi a manipulator się porusza po promieniu stołu ($\omega = \text{const}$ $v = \text{var}$). Podczas lania po łuku stół się porusza a manipulator stoi ($\omega = \text{var}$ $v = \text{const}$), natomiast przy laniu po prostej zarówno stół jak i manipulator się poruszają ($\omega = \text{var}$ $v = \text{var}$). W przypadku lania po zygzaku manipulator wykonuje ruch posuwisto-zwrotny nad zalewaną formą. Lanie odcinkami charakteryzuje się specyficznym ruchem stołu, który w

odpowiednich odcinkach zalewanej formy przyspiesza, jedzie ruchem jednostajnym lub zwalnia.

Po zalaniu, formy poddawane są odgazowaniu w szybie wentylacyjnym. Po upływie czasu zastygania, odlewy są wyjmowane z form. Proces technologiczny się powtarza.

System mikroprocesorowy został zrealizowany w oparciu o mikrokomputer klasy PC przystosowany do standardu przemysłowego. Komputer zamontowano w pyłoszczelnej obudowie układu sterowania wytwarzaniem pianki poliuretanowej. System sterowania wyposażono w specjalistyczne karty do wyznaczania za pomocą przetworników obrotowo-impulsowych położenia stołu i manipulatora. Do sterowania napędami stołu i manipulatora użyto mikroprocesorowych przekształtników firmy SIEMENS. Sterowanie tymi przekształtnikami odbywa się za pomocą standardu RS 485. Rozkazy do przekształtników wysyłane są w postaci ramek zawierających obok kodów nadmiarowych zadawaną częstotliwość (prędkość) na silniki stołu i manipulatora. Robotnik może sterować systemem posługując się standardową klawiaturą, zamocowaną w szafie pyłoszczelnej obok systemów sterowania procesem wytwarzania pianki, lub specjalnymi pulpitemi sterowniczymi. Pulpity umieszczone są na poszczególnych stanowiskach pracy. Za ich pomocą pracownicy mogą :

- zjechać na bazę stołem i manipulatorem,
- rozpocząć proces technologiczny,
- zatrzymać proces technologiczny,
- dokonać awaryjnego (BHP) wyłączenia urządzeń,
- podczas procesu nauczania dowolnie poruszać stołem i manipulatorem.

Ponadto pulpity wyposażono w instalację światełek informacyjnych (zasilanie, cykl pracy, stop) oraz lampkę stanu awaryjnego z sygnałem dźwiękowym.

3. ZADANIA SYSTEMU STEROWANIA

Wyeliminowanie dużej liczby braków podczas zalewania metodą ręczną oraz podniesienie wydajności produkcji przez zwiększenie cykli obrotu stołu na zmianę to podstawowe zadania opisywanego systemu. Braki powstające podczas pracy ręcznej związane były ze zmęczeniem ludzi wielogodzinną pracą, z różnymi sposobami lania pracowników na poszczególnych zmianach oraz z błędami popełnianymi przez robotników. Prezentowany system poprzez całkowite zautomatyzowanie tych prac ograniczył liczbę powstających braków. Poprzez rytmiczny proces zalewania wydajność zmiany wzrosła o ponad 50%.

Oprogramowanie systemu umożliwia uruchomienie:

- - cyklu pracy automatycznej,
- - cyklu pracy półautomatycznej,
- - nauczanie technologii,
- - wprowadzanie haseł nowych operatorów,
- - przeprowadzanie testowania systemu,
- - wprowadzanie nowych parametrów sterujących,
- - wprowadzanie nowych granic ustawienia ram.

Usytuowanie operatora w hierarchii haseł umożliwia mu dostęp do poszczególnych obszarów oprogramowania. Nie wszystkie opcje są dostępne dla każdego operatora. I tak wprowadzenie nowych parametrów sterujących jest zastrzeżone tylko dla serwisu. W parametrach sterujących znajdują się np. współczynniki regulatorów, dane układów mechanicznych niezbędne przy obliczaniu modelu sterowania.

Podczas dokonywania zmian w usytuowaniu ram na stole pracownicy nanoszą do systemu dane o nowych granicach danego stanowiska ramy. Odbywa się to w cyklu półautomatycznym i polega na precyzyjnym najechaniu stołem na punkt kontrolny. System dokona zapisu począt-

ku i końca stanowiska ramy. Podobnie w procesie nauczania operator po wybraniu sposobu lania oraz podstawowych informacji o zalewanej formie np. nazwa, kod, ilość form w ramie dokonuje wpisywania do systemu poszczególnych punktów lania. Punkty charakterystyczne lania są zależne do sposobu lania, najogólniej można stwierdzić, że jest to punkt początku i końca lania zarówno dla stołu i manipulatora. Nauczanie polega na najechaniu na zadany punkt zarówno stołem jak i manipulatorem oraz potwierdzeniu klawiszem rejestracji danego punktu. W procesie technologicznym niektóre formy zmieniają się średnio co tydzień, natomiast podczas jednej zmiany pracy kilkakrotnie zmienia się ilość zalewanych form. Ponieważ tego typu zakłady chemiczne pracują najczęściej 24 godziny na dobę opcja nauczania w prezentowanym systemie umożliwia w bardzo łatwy sposób dokonywanie zmian procesu technologicznego.

W cyklu pracy automatycznej system steruje procesem technologicznym zalewając na obwodzie stołu odpowiednio zaprogramowane w procesie uczenia formy.

Poprawienie wydajności osiągnięto stosując dynamiczny system ruchu stołem i ramieniem manipulatora podczas ruchu przestawczego (ruch między formami). Taktycznym zadaniem systemu sterującego procesem technologicznym jest odpowiednie zsynchronizowanie ruchów stołu, manipulatora z momentem lania PUROMATU. PUROMAT może znajdować się w dwóch cyklach pracy:

- obiegu długim,
- obiegu krótkim.

Te cykle pracy różnią się czasem jaki musi upłynąć od momentu wydania polecenia <LEJ> do rzeczywistego momentu wypłynięcia pianki poliuretanowej z głowicy lejącej. Czasy te są możliwe do zaprogramowania w systemie sterującym urządzeniem wytwarzającym piankę. Obieg długi charakteryzuje się tym, iż czas T_{ra} od momentu wydania polecenia <LEJ> do momentu lania wynosi ok. 0.4 s. Natomiast w obiegu krótkim czas ten wynosi 5 s (T_{rb}). PUROMAT znajduje się w obiegu długim jeżeli czas od momentu zakończenia ostatniego lania do momentu wydania polecenia <LEJ> nie jest dłuższy od czasu gotowości T_{kd} (4 s). Jeżeli jest równy lub dłuższy to PUROMAT przechodzi do pracy w obiegu krótkim. Ten proces pracy PUROMATU ma istotny wpływ na dynamikę liczenia modelu ruchu dla stołu i manipulatora oraz wyznaczania momentów wydania polecenia do PUROMATU <LEJ>.

4. OBLICZANIE MODELU RUCHU

Sterowanie stanowiskiem zalewania form odbywa się według obliczanego modelu ruchu dla stołu obrotowego i manipulatora. Według ściśle założonego algorytmu budowana jest tablica zawierająca wartości wymaganych punktów położenia stołu i manipulatora oraz momentów wydania polecenia <LEJ> w funkcji częstotliwości próbkowania systemu. Tablica ta jest oczywiście różna dla różnych cykli technologicznych. Cykl technologiczny jest wprowadzany przez pracowników do systemu podczas cyklu nauczania. Cykl ten polega na wprowadzeniu ustawienia form na stole, sposobu ich zalewania oraz czasów lania. Pracownik może korzystać z tego cyklu tylko w przypadku zmian w sposobach zalewania form na stole.

Podczas pracy system z odpowiednią częstotliwością próbkowania pobiera wartości z tablicy modelu. Na podstawie pobranej wartości aktualnej i poprzedniej, po zastosowaniu odpowiedniego współczynnika określana jest wymagana prędkość stołu. Wartość tej prędkości korygowana jest poprzez porównanie zadanego położenia stołu i manipulatora z rzeczywistymi punktami położenia obiektów, przez regulator PID. Tak określona wartość prędkości (częstotliwości) przesyłana jest interfejsem RS 485 do przekształtników silników napędowych. W celu uzyskania maksymalnej wydajności model liczony jest stosując dynamiczny system ruchu przestawczego dla stołu między formami. Polega on na przyspieszaniu prędkości stołu do takiej wartości aby na drodze między formami zdążyć wyhamować do prędkości z jaką powinien poruszać się stół podczas zalewania formy. Jeżeli odległość między formami jest wystar-

czająco duża to stół w ruchu przestawczym (ruch między formami) będzie poruszał się ruchem przyspieszonym do maksymalnej prędkości sterowania silnikiem napędowym. Następnie będzie poruszał się ruchem jednostajnym z maksymalną prędkością, aż w końcu będzie zwalniał do prędkości z jaką powinien poruszać się podczas zalewania formy. Prędkość zalewania formy uzależniona jest od wybranego sposobu lania oraz odległości między punktami charakterystycznymi lanej formy. Ruch przestawczy zdeterminowany jest w znacznym stopniu przez cykl pracy PUROMATU. Podczas obliczania modelu dla ruchów przestawczych wyznacza się w pierwszej kolejności prędkości z jakimi powinien poruszać się obiekt (stół, manipulator) w pierwszym punkcie lania $A(\phi, x)$ i ostatnim zalewanej formy $B(\phi, x)$. Przykładowo jeżeli forma nie będzie zalewana ze staniem w punktach $T_a = T_b = 0$ to:

$$V_{ann} = V_{bnn} = [\phi B - \phi A] / [T_{ab} * K\phi] \quad (1)$$

gdzie:

V_{ann}, V_{bnn} - prędkości lania w punktach A i B dla stołu,

T_{ab} - czas lania formy,

$K\phi$ - współczynnik - rzeczywista prędkość uzyskiwana przy częstotliwości 1Hz współczynnik określany na podstawie danych silników napędowych, przekształtników i danych mechanicznych reduktorów

Następnie w modelu wyznaczany jest czas ruchu przestawczego między formami.

$$T = (V\phi - V_{bn}) / A\phi + (V\phi - V_{ann}) / A\phi + S2 / (V\phi * K\phi) \quad (2)$$

gdzie:

$V\phi$ - maksymalna prędkość stołu

$A\phi$ - przyspieszenie kątowe stołu

V_{bn} - prędkość lania poprzedniej formy

$$S2 = S - S1 \quad (3)$$

$$\text{gdzie: } S = \phi A(n) - \phi B(n-1) \quad (4)$$

n - numer kolejnej formy

$S1$ - droga potrzebna do rozruchu z V_{bn} do $V\phi$ i hamowania z $V\phi$ do V_{ann}

$$S1 = [V\phi^2 * 2 * K\phi - K\phi * (V_{bn}^2 + V_{ann}^2)] / (2 * A\phi) \quad (5)$$

Jeżeli czas T (ruchu przestawczego) jest mniejszy od T_{kd} to PUROMAT otrzymuje polecenie <LEJ> w czasie T_{ra} przed dojechaniem do punktu lania $A(\phi, x)$. Natomiast jeżeli $T > T_{kd}$ to sprawdzany jest warunek czy $T > T_{kd} + T_{rb}$. Jeśli tak to PUROMAT otrzymuje polecenie w czasie T_{rb} przed dojechaniem do punktu $A(\phi, x)$. W przeciwnym wypadku tzn. gdy $T_{kd} < T < T_{kd} + T_{rb}$ model steruje w ten sposób ruchem przestawczym stołu i manipulatora aby:

- manipulator zjechał szybko na bazę po zalaniu formy
- stół z maksymalnym przyspieszeniem przejechał do granicy stanowiska (umożliwi to szybkie zamknięcie zalanej formy)
- zwolnił stół tak aby drogę od granicy stanowiska do punktu lania kolejnej formy przejechał w czasie $T_{kd} + T_{rb}$, oczywiście stół porusza się ruchem przyspieszonym, jednostajnym i opóźnionym, zwalniając do prędkości V_{ann} .

Podczas ruchu przestawczego poszczególne punkty tablicy modelu położenia stołu obliczane są według wzorów:

$$\text{dla ruchu przyspieszonego: } \phi(tr) = (K\phi * A\phi * tr^2) / 2 + V_{bn} * K\phi * tr \quad (6)$$

$$\text{gdzie } 0 < tr < (V\phi * V_{bn}) / A\phi \quad (7)$$

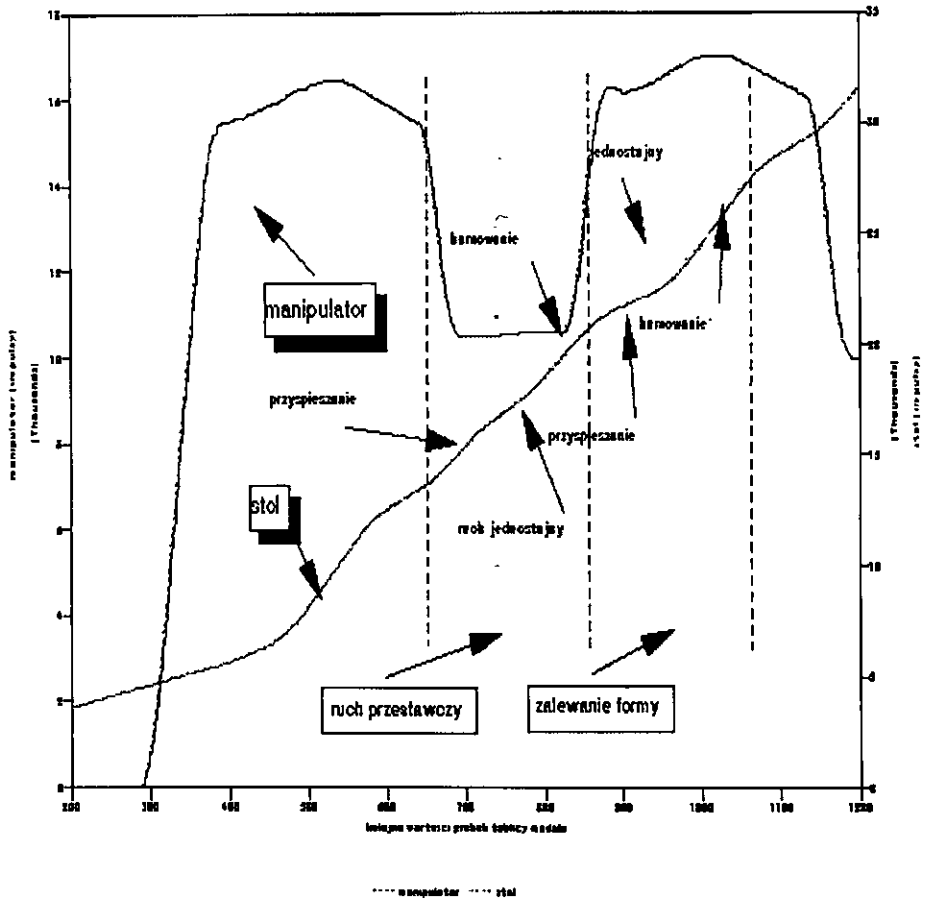
dla ruchu jednostajnego : $\phi(tr) = V\phi * K\phi * tr$ (8)

gdzie $(V\phi * Vbn)/A\phi < tr < (V\phi * Vann)/A\phi$ (9)

dla hamowania stołu : $\phi(tr) = V\phi * K\phi * tr - (K\phi * A\phi * tr^2)/2$ (10)

gdzie $T - (V\phi * Vann)/A\phi < tr < T$ (11)

Podobnie wygląda rozliczanie ruchu stołu podczas zalewania form. W graficznej prezentacji modelu zarówno dla stołu jak i manipulatora wyraźnie widoczne są krzywe przyspieszania i zwalniania obiektów podczas ruchów przestawczych i zalewania odcinkami po prostej lub łuku. Precyzyjne rozliczenie modelu decyduje o dokładności sterowania.



Rys.2. Model ruchu stołu i manipulatora

5. PODSUMOWANIE

Stanowisko rozwiązało szereg problemów dotyczących kosztów produkcji i jej wydajności. Rozwiązane zostały również problemy związane z ekologią, całkowicie wyeliminowało udział człowieka w procesie napełniania form pianką poliuretanową. Dzięki automatyzacji zalewania ograniczono liczbę braków do nieznaczącej ilości. Rozwiązało to problem utylizacji braków.

W artykule zaprezentowano tylko poglądowo metodę obliczania modelu ruchu stanowiska do zalewania form pianką poliuretanową. Nie uwzględniono dodatkowych warunków występujących w systemie rzeczywistym jak np. stop programowy lub sprzętowy, monotoniczności funkcji na końcach przedziałów czasowych.

W przyszłości przewiduje się pracę nad poprawieniem metod sterowania procesem technologicznym zalewania form pianką poliuretanową oraz zaimplementowaniem nowych algorytmów regulacji ruchem stołu i manipulatora.

Prezentowane w artykule stanowisko jest objęte ochroną patentową.

LITERATURA

- [1]. R. Klaus: Informatyka w automatyzacji stanowiska do zalewania form pianką poliuretanową, *Konferencja Informatyka na Wyższych Uczelniach dla Gospodarki Narodowej*, Gdańsk, 1994, tom II str.93-96.
- [2]. R. Klaus, M. Wochelski: Mechatronics Elements in a System for Pouring Molds with Polyurethane Foam, *International Conference on Recent Advances in Mechatronics ICRAM'95*, August 14-16, 1995, Istanbul, Turkey, v.2. pp.935-939
- [3]. R. Klaus: Eliminowanie stanowisk szkodliwych w procesie zalewania form poliuretanem, *II Konferencja Komputer w Ochronie Środowiska*, Poznań 1995, str. 83-86
- [4]. Z. Wirpsza: Poliuretany, chemia, technologia, zastosowanie., *WNT, W-wa*, 1991.