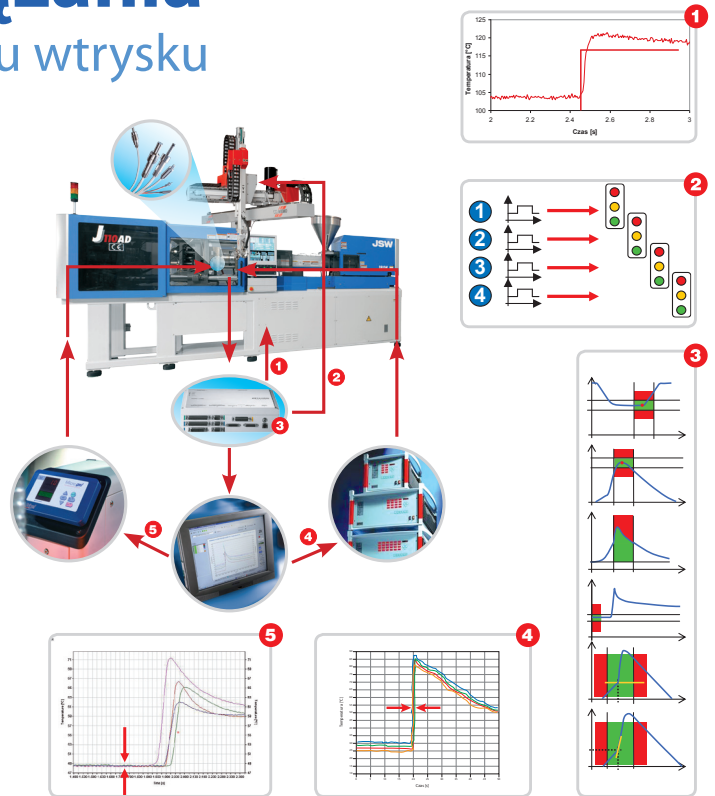


Paweł Jurkowski

Innowacyjne rozwiązania dla sterowania i kontroli procesu wtrysku

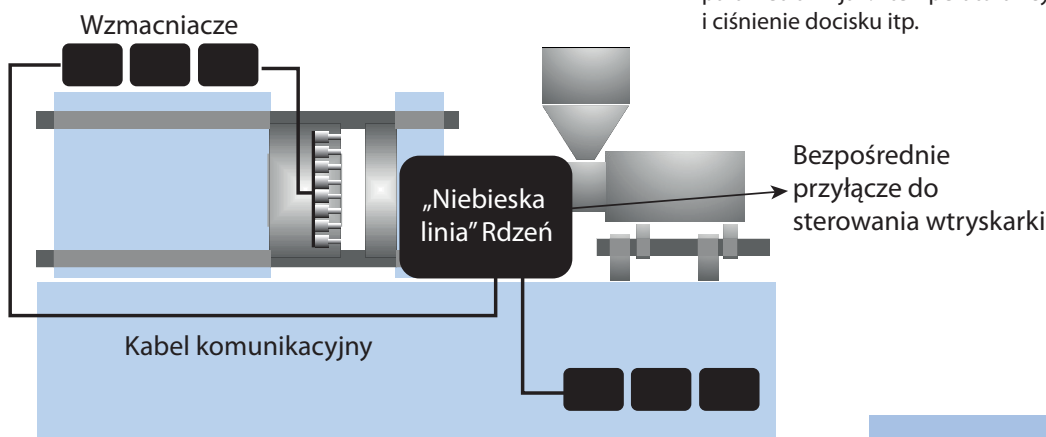
Dwa lata temu na targach Plastpol mieliśmy okazję prezentować innowacyjne w tamtym czasie gniazdo produkcyjne. W skład tego gniazda wchodziła wtryskarka elektryczna, robot a co najważniejsze forma wtryskowa wyposażona w czujniki ciśnienia i temperatury oraz specjalny zaawansowany system sterujący procesem – „Fill & cool”. System pozwalał na nieustanne monitorowanie w czasie rzeczywistym procesu wtrysku i ewentualną automatyczną separację wybranych wadliwych wyprasek. Dodatkowo system sterował pracą systemu gorącokanałowego – optymalizując temperatury dysz gorącokanałowych w taki sposób aby wszystkie gniazda formy wielogniazdowej wypełniały się w sposób możliwie równomierny i powtarzalny. Dzięki zastosowaniu specjalnych miniaturowych czujników temperatury system umożliwiał obserwację rzeczywistej temperatury powierzchni formującej i automatyczną jej regulację z poziomu formy.



Rys. 1 Schemat inteligentnego gniazda produkcyjnego prezentowanego na targach Plastpol 2009 na stoisku Wadim Plast

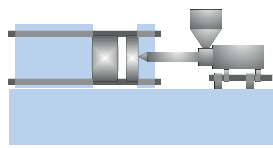
Od dawna zastanawiałem się jak długo będziemy musieli czekać na dalszy rozwój technologii wtrysku i kiedy doczekamy się bardziej zaawansowanej kontroli procesu z poziomu formy wtryskowej. Zawsze kiedy rozpoczynałem rozważania na temat możliwości wprowadzenia tego typu sterowania zadawałem sobie pytanie jakie parametry procesu obserwować i w jaki sposób automatycznie modyfikować nasz proces cykl po cyklu, aby nie uległ on „rozregulowaniu”. Nie mogłem sobie wyobrazić dobrego algorytmu sterowania, który pozwoliłby spełnić te kryteria.

Rozwiązanie problemu znalazła szwajcarska firma Priamus – światowy lider w dziedzinie oprzyrządowania do monitorowania i kontroli procesu wtrysku z poziomu formy wtryskowej. Nowa linia produktów „Niebieska linia” umożliwia sterowanie procesem wtrysku w sposób jaki dotychczas wydawał się nie do pomyślenia. Nowe oprzyrządowanie firmy Priamus wyposażone w specjalne oprogramowanie umożliwia już nie tylko sterowanie pracą systemu gorącokanałowego czy punktem przełączania z wtrysku na docisk ale pozwala na automatyczną zmianę wybranych parametrów procesu bezpośrednio z poziomu sterowania wtryskarki. Najnowszy system umożliwia automatyczną regulację takich parametrów jak: temperatura cylindra, prędkość wtrysku, czas i ciśnienie docisku itp.

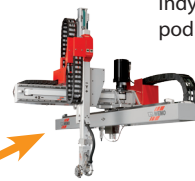


Rys. 2 Schemat koncepcyjny nowego systemu firmy Priamus

Alarm pod koniec cyklu
automatyczna separacja
wyrobów



Indywidualne alarmy
pod koniec cyklu



PREMIUS
BLUELINE

Adaptacyjne
sterowanie pod
koniec cyklu



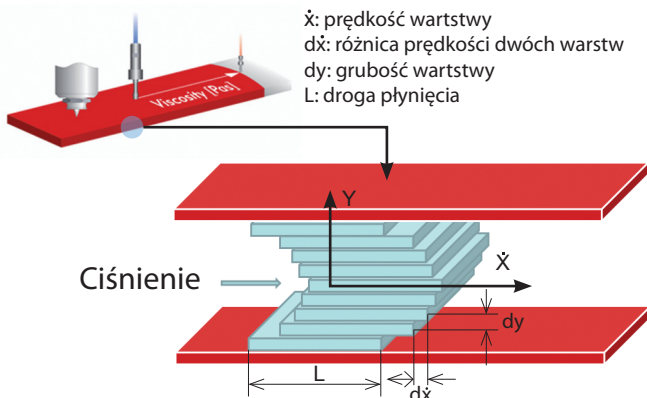
Adaptacyjne
sterowanie pod
koniec cyklu



Rys. 3 Rysunek prezentuje szeroki zakres
możliwości sterowania procesem wtrysku.

Automatyczna kontrola tak wielu parametrów procesu jest możliwa dzięki opatentowanemu przez firmę Priamus pomiarowi lepkości bezpośrednio w gnieździe formującym. Aby zrozumieć zasadę działania całego systemu należy przeanalizować sposób w jaki przebiega ten pomiar.

Automatyczna kontrola tak wielu parametrów procesu jest możliwa dzięki opatentowanemu przez firmę Priamus pomiarowi lepkości bezpośrednio w gnieździe formującym. Aby zrozumieć zasadę działania całego systemu należy przeanalizować sposób w jaki przebiega ten pomiar.



Rys. 4 Model obrazujący przepływ tworzywa

Pomiar ten ma za zadanie umożliwić w prosty sposób rejestrowanie i kontrolowanie przebiegu zmian lepkości bezpośrednio podczas trwania procesu. Przy wykorzystaniu czujnika ciśnienia i czujnika temperatury pojedyncze wartości lepkości mogą być mierzone bezpośrednio w gnieździe formy. Ważne jest to, że możemy rejestrować nie tylko względne zmiany lepkości poprzez rejestrację na przykład znaczącej zmiany prędkości płynięcia, ale możemy porównywać do siebie konkretne wartości lepkości wyświetlane w paskalosekundach [Pa*s]. Właśnie ta cecha pozwala na wykorzystanie pomiaru lepkości w gnieździe formy jako parametru kontrolnego określającego stabilność procesu wtrysku. Lepkość jest funkcją określającą zdolność płynięcia materiału, a co za tym idzie jest możliwa do zarejestrowania tylko podczas przepływu, jakim jest na przykład wtrysk.

Różnice prędkości dwóch warstw nazywamy szybkością ścinania

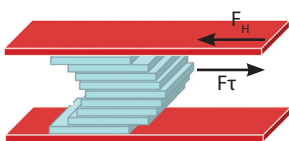
$$\dot{\gamma} = d\dot{x} / dy \text{ [1/s]}$$

$$\dot{\gamma} = 6 \cdot V / B \cdot H^2$$

Stosunek siły z jaką oddziałują na siebie dwie warstwy do powierzchni nazywamy: naprężeniami ścinającymi

$$\tau = F/A = N/m^2 \text{ [Pa]}$$

$$\tau_w = \Delta p \cdot H / 2 \cdot L$$

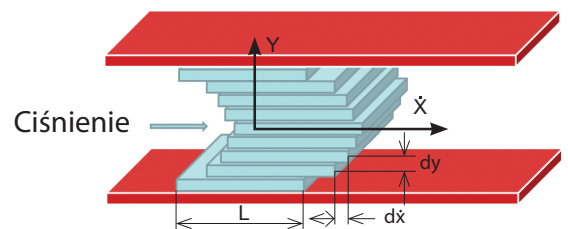


Rys. 5 Naprężenia ścinające

Naprężenia ścinające są miarą obciążenia, jakiemu poddawany jest materiał podczas przepływu.

Wysokie naprężenia ścinające mogą być przyczyną utraty własności mechanicznych wyrobu końcowego.

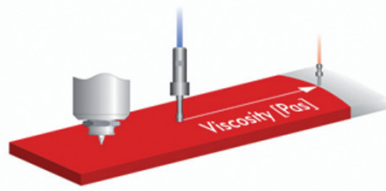
Naprężenia ścinające mogą służyć jako wskaźnik do rozpoznawania wad powierzchni.



Wzrost temperatury stopu podczas przepływu.
Orientacja łańcuchów polimerowych, włókien i napelniaczy

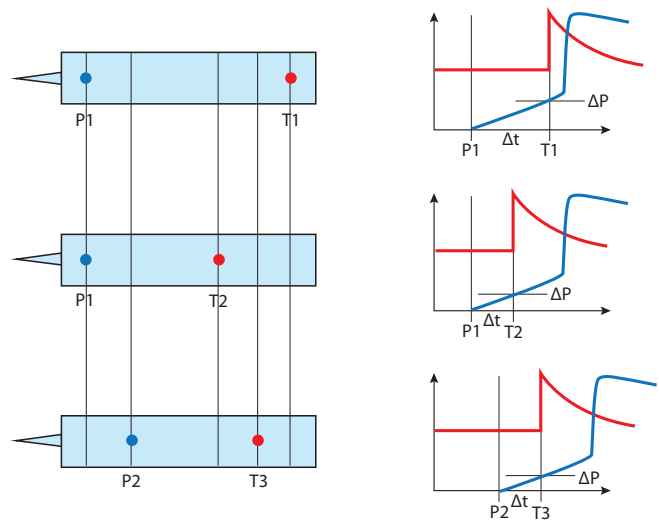
Rys. 6 Szybkość ścinania

Lepkość jest obliczana ze stosunku naprężeń ścinających i szybkości ścinania. Aby możliwe było określenie naprężeń ścinających, należy podać dane związane z geometrią wypraski takie jak grubość ścianki oraz zarejestrować ciśnienie wewnątrz gniazda formującego. Szybkość ścinania jest określana poprzez pomiar czasu niezbędnego, aby front tworzywa pokonał określoną odległość.



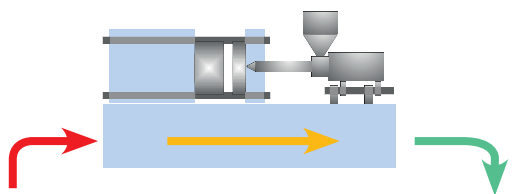
Lepkość może być mierzona niezależnie od położenia czujników i odległości między nimi!

Jedyny warunek:
czujnik ciśnienia znajduje się bliżej punktu wtrysku.



Rys. 7 Podstawowy warunek dla pomiaru lepkości w gnieździe formy

Dzięki pomiarowi lepkości, szybkości ścinania i naprężeń ścinających możliwe jest monitorowanie i sterowanie procesem wtrysku cykl po cyklu w czasie rzeczywistym. Specjalny algorytm reguluje wybranymi parametrami procesu wtrysku w taki sposób aby lepkość, naprężenia ścinające i szybkość ścinania były w każdym cyklu powtarzalne.



Parametry wejściowe

- prędkość wtrysku
- docisk
- dekompresja
- pozycja ślimaka
- punkt przełączania
- temperatura cylindra
- temperatura formy
- czas chłodzenia
- czas docisku
- temperatura dysz GK
- temperatura formy przy ciśnieniu atmosferycznym
- Otwarcie/zamknięcie iglicy dyszy GK

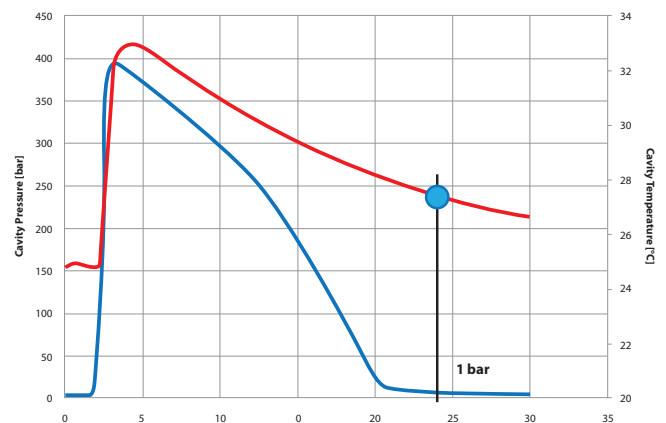
Mierzalne parametry wyjściowe

- Krzywe ciśnienia wewnątrz formy
- Max ciśnienie wewnątrz formy
- Przebieg ciśnienia wewnątrz formy
- Pozycja czoła płynięcia
- Temperatura stopu
- Temperatura powierzchni formy
- **Naprężenia ścinające (online)**
- **Szybkość ścinania (online)**
- **Lepkość (online)**

Cel

- Wymiary / skurcz
 - masa
 - wytrzymałość
 - odkształcenia
- Jakość powierzchni
- Naprężenia wewnętrzne
- Wypraska dolana / niedolana

Dzięki takiej kontroli możemy mieć pewność że jakość wyrobu końcowego będzie powtarzalna. Dzięki zastosowaniu takiego systemu możemy mieć pewność, że produkowane przez nas wypraski będą miały powtarzalne wymiary i masę i będą wolne od wad.



Rys 9. Kontrola powtarzalności skurczu dzięki pomiarowi temperatury wypraski w momencie gdy osiągnięte zostanie ciśnienie atmosferyczne.

Rys. 8 Tabela obrazuje parametry, które są regulowane przez system Priamus, mierzone wartości oraz wpływ kontroli procesu na cechy wyrobu końcowego.