

Technika wtryskiwania szybkobieżnego

High-speed injection technology

ANDRZEJ ZWIERZYŃSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.4.35

Przedstawiono zagadnienia związane z techniką wtryskiwania szybkobieżnego. Scharakteryzowano rodzaje wyprasek produkowanych tą metodą oraz materiały przeznaczone do wtryskiwania szybkobieżnego. Omówiono wymagania dotyczące form wtryskowych oraz konstrukcji wtryskarek i ich wyposażenia, a także urządzenia peryferyjne – roboty do odbioru wyprasek, urządzenia transportowe i kontrolne. Na zakończenie opisano kierunki rozwoju wtryskiwania szybkobieżnego.

SŁOWA KLUCZOWE: tworzywa sztuczne, wtryskiwanie, wypraski cienkościenne

The article describes issues related to the high-speed injection technology. Specific characteristics of the moldings and respective materials used in the high-speed injection process are presented. Also discussed are the requirements to be met by the design features of injection molds as well as by the design of injection molding machines and their accessories such as mold unloading robots, mold handling conveying machines or mold quality control devices. Closing section explains the trends observed in progress of the high-speed injection industry.

KEYWORDS: plastic, injection, thin-walled molding

Wtryskiwanie szybkobieżne zazwyczaj kojarzy się z masową produkcją opakowań cienkościennych, jednak tą metodą wytwarza się także wiele wyrobów medycznych, płyty CD i DVD, obudowy urządzeń (np. telefonów komórkowych) itp. Zdecydowana większość wyprasek ma stosunkowo proste kształty, więc ich produkcja z pozoru nie przedstawia większych problemów. W rzeczywistości jest to bardziej skomplikowane ze względu na cienkie ścianki wyprasek (ok. $0,3 \div 0,4$ mm) i długie drogi płynięcia. Stosunek drogi płynięcia do grubości ścianki niejednokrotnie osiąga wartość rzędu 400. Takie parametry konstrukcyjne cienkościennych wyprasek determinują wysokie wymagania technologiczne. W tym przypadku standardowe rozwiązania są niewystarczające. Aby osiągnąć odpowiednią jakość wyprasek, a jednocześnie zapewnić efektywność produkcji, konieczne jest stosowanie:

- specjalnych rodzajów tworzyw o wysokim wskaźniku szybkości płynięcia,
- form wtryskowych charakteryzujących się zdolnością do przenoszenia wysokiego ciśnienia i bardzo krótkim czasem chłodzenia,
- wtryskarek realizujących cykl w czasie nawet poniżej 2 s,
- specjalnych urządzeń peryferyjnych (m.in. robotów oraz urządzeń sztaplujących, kontrolujących jakość wyprasek i pakujących) gwarantujących sprawny przebieg procesu.

Duże zróżnicowanie produkowanych wyprasek sprawia, że w poszczególnych przypadkach muszą być spełnione specyficzne wymagania technologiczne. Te wymagania

są bardzo wysokie ze względu na fakt, że obecnie duża część tego rodzaju wyrobów jest wytwarzana z wykorzystaniem wtryskiwania wielokomponentowego (najczęściej 2K) oraz technologii IML (dotyczy to zwłaszcza produkcji opakowań).

Charakterystyka wyrobów

W praktyce i literaturze technicznej można się spotkać z różnymi definicjami wypraski cienkościennej. Zwykle za wypraskę cienkościenną uważa się wyroby o grubości ścianek $0,3 \div 1,8$ mm, charakteryzujące się wysoką wartością – osiągającą zazwyczaj $100 \div 300$, a niekiedy przekraczającą 400 – stosunku drogi płynięcia do grubości ścianki. Spora rozpiętość tego wskaźnika wynika z dużego zróżnicowania wielkości produkowanych wyprasek cienkościennych. Wymusza to stosowanie specjalnych metod wytwarzania, często określanymi jako wtryskiwanie szybkobieżne, rzadziej – jako wtryskiwanie z dużą szybkością.

Wypraski cienkościenne dzielą się na trzy zasadnicze grupy:

- wypraski masowe (opakowania),
- opakowania i wypraski techniczne,
- wysokiej jakości wypraski techniczne.

Typowe **wypraski masowe** to: pojemniki na żywność, kubki (rys. 1), wiadra (rys. 2), naczynia i sztucze jednorazowego użytku. W ich produkcji kluczowe jest kryterium wysokiej wydajności. Krotność form wynosi $1 \div 8$ lub więcej – przy formach piętrowych. Stosuje się tworzywa: PP, PE i PS. Grubość ścianek wyprasek wynosi



Rys. 1. Przykładowe wypraski produkowane na skalę masową – kubeczki ośmiokątne $0,25$ l [1]



Rys. 2. Wiadro opakowaniowe wytworzone w technologii IML [1]

* Mgr inż. Andrzej Zwierzyński (azgktech@wp.pl) – AZ-GK-Tech, Otwock

0,3÷1,8 mm. Wyroby te muszą być dobrze wybarwione, lecz ogólnie stawia się im mniejsze wymagania jakościowe i wymiarowe. Tolerancja wagi stanowi 0,5÷1%. Parametry procesu wynoszą: prędkość wtrysku 300÷800 mm/s, ciśnienie w formie 500÷700 bar, czas cyklu 2÷15 s, temperatura formy 20÷30°C, siły zamykania 1000÷8000 kN.

W przypadku **opakowań i wyprasek technicznych** oprócz wysokiej wydajności procesu liczy się dokładność wykonania (dokładność wymiarowa, mały skurcz, odpowiedni wygląd powierzchni, tolerancja wagi 0,2÷0,3%). Wypraski z tej grupy (np. opakowania płyt CD/DVD i wyroby medyczne – płytki Petriego, pojemniki) produkuje się z takich tworzyw, jak: PP, PE, PS, ABS. Grubość ścianek wynosi 0,4÷1,5 mm. Krotność form wynosi 4÷64. Parametry wtrysku są następujące: prędkość wtrysku 150÷350 mm/s, ciśnienie w formie 400÷600 bar, czas cyklu 4÷10 s, temperatura formy 20÷40°C, siły zamykania 1500÷3000 kN.

Duża wydajność procesu i precyzja wykonania (dokładność wymiarowa, mały skurcz, odpowiedni wygląd powierzchni, tolerancja wagi 0,2÷0,3%) to również typowe wymagania, jakim podlegają **wysokiej jakości wypraski techniczne** – np. obudowy telefonów komórkowych (rys. 3) i urządzeń elektronicznych czy listwy wtykowe. Wykonuje się je z PC, ABS, PC/ABS. Krotność form wynosi 1÷4, a grubość ścianek wyprasek – 0,5÷1,2 mm. Parametry wtrysku są następujące: prędkość wtrysku 250÷1000 mm/s, ciśnienie w formie 500÷700 bar, czas cyklu 6÷12 s, temperatura formy 50÷60°C, siły zamykania 800÷3500 kN.

W tablicy podano wartości ciśnienia wtrysku, docisku oraz średniego ciśnienia wewnątrz formy dla różnych tworzyw.

TABLICA. Zalecane wartości ciśnienia wtrysku, docisku i średniego ciśnienia wewnątrz formy w zależności od rodzaju tworzywa [1]

Tworzywo	Ciśnienie wtrysku, bar	Ciśnienie docisku, bar	Średnie ciśnienie wewnątrz formy, bar
PS	700÷1600	300÷600	200÷400 opakowania – do 800
ABS	800÷1600	400÷900	350÷550
SAN	800÷1600	400÷800	300÷500
PE, PP	700÷1600	300÷600	200÷400 opakowania – do 800
PA	700÷1600	500÷700	350÷700
POM	800÷1800	800÷1000	600÷800
PC	1000÷1800	600÷1000	400÷600
PMMA	1000÷1600	600÷1000	400÷800
PETP/PBTP	700÷1600	500÷800	400÷700
PPO	1000÷1600	600÷800	400÷700
PC/ABS Blend	800÷1700	600÷800	350÷500



Rys. 3. Przykłady wysokiej jakości cienkościennych wyprasek technicznych

Pozostałe wymagania wobec różnych grup wyprasek cienkościennych to:

- dokładność i powtarzalność pozycjonowania etykiet przy zastosowaniu techniki IML,
- odpowiednie zabezpieczenie przed otwarciem (dotyczy to np. zamknięć, opakowań),
- trwałość i wytrzymałość mechaniczna,
- czystość (w przypadku wyrobów medycznych i opakowań do żywności),
- przystosowanie do efektywnego składowania, pakowania i transportu (dotyczy to głównie opakowań).

Tworzywa sztuczne

Kluczowym elementem analizy ekonomicznej podczas opracowywania i uruchamiania produkcji jest odpowiedni dobór materiału, zwłaszcza że według różnych źródeł koszty materiałowe stanowią ok. 55÷70% kosztów wytworzenia wypraski.

Jak już wspomniano, w technice wtrysku szybkobieżnego konieczne jest stosowanie materiałów łatwo płynących.

Największą grupę wyprasek stanowią opakowania, a więc wyroby wykonane na ogół z PP, PE i PS. Ze względu na odpowiednią wytrzymałość i niski ciężar właściwy oraz atrakcyjną cenę najczęściej stosowanym tworzywem jest PP – jego wskaźnik szybkości płynięcia osiąga 20 MFR (MFI) i więcej, a w skrajnych przypadkach znacznie przekracza 50.

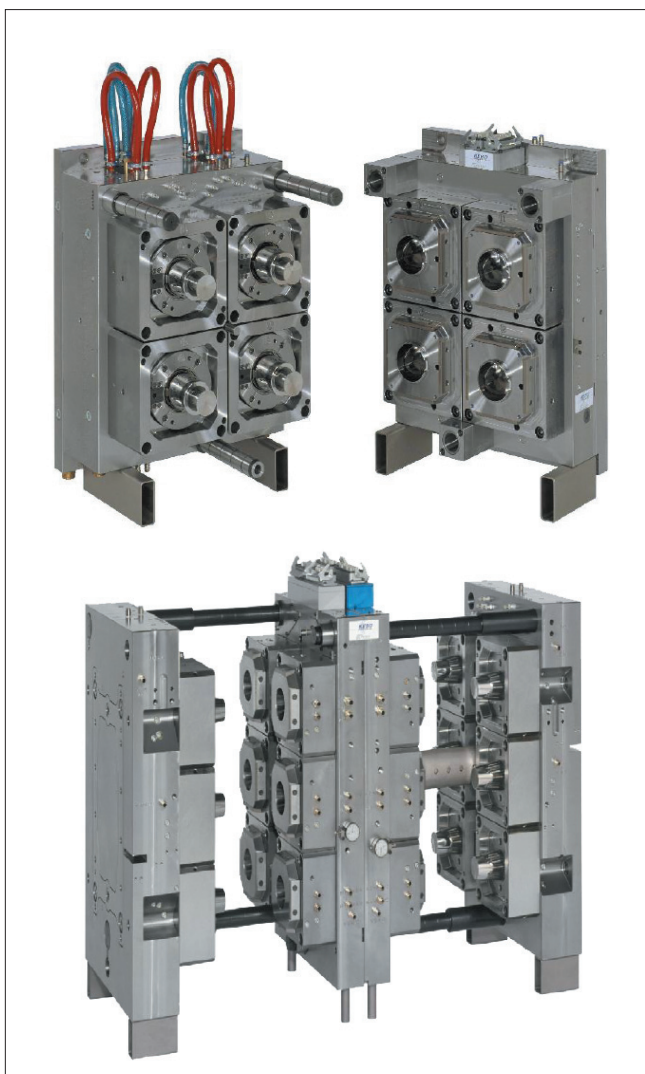
Oprócz wymienionych materiałów na wyroby techniczne stosuje się tworzywa uznawane za niezbyt dobrze płynące, np. PC/ABS czy PC. W tym przypadku wykorzystuje się jednak gatunki materiałów o wyższych wskaźnikach szybkości płynięcia, pozwalających na osiągnięcie dobrego wypełnienia gniazd.

Formy wtryskowe

Formy do wtrysku szybkobieżnego zwykle pracują w niskiej temperaturze (temperatura formy często jest niższa od 20 °C, a temperatura medium chłodzącego wynosi 8÷12 °C) i przenoszą bardzo duże obciążenia mechaniczne (prędkość wtrysku dochodzi do 1000 mm/s, a ciśnienie w gnieździe osiąga nawet 800÷1000 bar). Dodatkowo cykle wtrysku mogą być krótsze niż 2 s. Na jakość wyprasek i efektywność ich produkcji największy wpływ ma forma wtryskowa, dlatego konstrukcja form do wyprasek cienkościennych musi spełniać bardzo wysokie wymagania. Takie formy muszą mieć dużą trwałość mechaniczną, zapewniać powtarzalność (w każdym cyklu) i równomierne wypełnianie gniazd oraz maksymalnie krótkie czasy cykli wtryskiwania, a ponadto być wygodne w eksploatacji i obsłudze technicznej.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w konstruowaniu form wtryskowych nastąpiła daleko idąca specjalizacja. Rozwiązania opracowywane przez wyspecjalizowane narzędziownie, dotyczące zwłaszcza układów chłodzenia czy układów efektywnego wypychania wyprasek, są pilnie strzeżoną tajemnicą (niekiedy nie są udostępniane nawet pracownikom firmy, którzy nie są bezpośrednio związani z projektowaniem i wykonawstwem form).

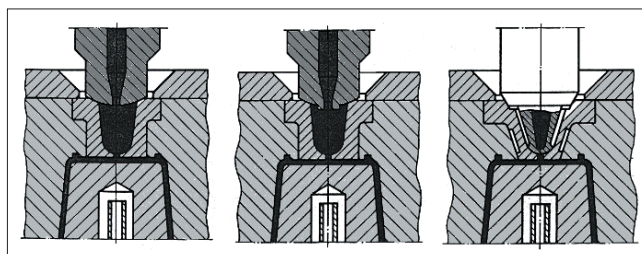
Na rys. 4 pokazano przykładowe formy do produkcji kubeczków.



Rys. 4. Przykładowe formy wtryskowe do produkcji kubeczków jednorazowych (poniżej forma piętrowa)

Powtarzalne i równomierne wypełnianie gniazd jest uwarunkowane konstrukcją układu wlewowego i gniazda (lub gniazd). Zaleca się:

- stosowanie sprawdzonych rozwiązań układów GK (gorącokanałowych) ogrzewanych zewnątrz (ogrzewanie wewnętrzne można stosować tylko wtedy, gdy nie występuje zmiana koloru); niejednokrotnie mogą być wymagane dysze zamykane,
- unikanie wlewów ZK (zimnokanałowych) – wyjątek stanowią wyroby techniczne pracujące w nieco dłuższych cyklach oraz formy jednokrotne na duże wypraski – pojemniki, wiadra (rys. 5),
- zwrócenie szczególnej uwagi na jakość wykończenia elementów formujących,
- zapewnienie bardzo dobrego odpowietrzenia,
- zapewnienie wysokiej sztywności gniazda oraz pozycjonowania stempla względem matrycy (aby zagwarantować niezmienną geometrię gniazda podczas oddziaływania wysokiego ciśnienia).



Rys. 5. Układy bezwlewe stosowane w formach jednokrotnych

Maksymalnie krótki czas cyklu wtryskiwania jest możliwy do osiągnięcia przy odpowiednim czasie chłodzenia, który zależy od konstrukcji układu chłodzenia w formie. W tym przypadku istotne są takie elementy, jak:

- właściwe rozmieszczenie i przekroje kanałów chłodzących (zwłaszcza w stemplach) oraz rozdzielanie zasilania na obu połówkach formy (możliwość różnicowania temperatury),
- możliwość zastosowania elementów wspomagających wymuszanie w kanałach chłodzących przepływów turbulentnych (przegród płaskich i spiralnych, wkładek labiryntowych, syfonów itp.),
- zapewnienie jak najmniejszych różnic temperatury na wejściu i wyjściu (maksymalna różnica nie powinna przekraczać 1÷1,5 °C) oraz możliwie niskiej temperatury medium chłodzącego (8÷12 °C przy ciśnieniu 6÷8 bar),
- stosowanie w miejscach newralgicznych (krawędziach i narożach) materiałów o dużej przewodności cieplnej (np. brązów berylowych, aluminium, niklowych) w celu zagwarantowania szybkiego wyrównywania temperatury i odbioru ciepła.

Wysoką trwałość mechaniczną formy uzyskuje się dzięki jej odpowiedniej konstrukcji. Formy do wtryskiwania wyprasek cienkościennych mogą być eksploatowane nawet przez ponad 9 mln cykli roczne. Podczas projektowania formy należy zapewnić:

- wysoką sztywność formy oraz dostateczne podparcie strefy wypychania,
- dokładne wykonanie i osadzenie elementów formujących (zwłaszcza stempli),
- bardzo pewne centrowanie stempla względem matrycy (wysokość stożków lub przyзм skośnych powinna wynosić ok. 0,3÷0,5 wysokości stempla formującego), zapewniające tolerancję ścianek bocznych na poziomie ±0,01 mm, a denka – ±0,02 mm,



- zastosowanie atestowanych materiałów narzędziowych o wysokiej wytrzymałości i odporności na zużycie, a także staranną obróbkę cieplną lub cieplno-chemiczną,
- zabezpieczenie powierzchni ruchomych i ustalających elementów form powłokami zapobiegającymi przedwczesnemu zużyciu, a powierzchni formujących (zwłaszcza w formach przeznaczonych do wyprasek technicznych) – powłokami zmniejszającymi adhezję i ułatwiającymi usuwanie wyprasek.

Wygoda eksploatacji i obsługi technicznej formy wtryskowej jest uwarunkowana jej ogólną budową mechaniczną, która w miarę możliwości powinna być jak najprostsza. Z tego punktu widzenia zaleca się:

- rozmieszczanie elementów prowadzących w sposób niepowodujący utrudnień w usuwaniu wyprasek,
- zapewnienie łatwego dostępu (dla współpracujących urządzeń peryferyjnych – robotów) do przestrzeni roboczej formy,
- stosowanie oddzielnych obiegów sprężonego powietrza na każde gniazdo wspomagające wyrzut wypraski ze stempla oraz dodatkowych obiegów sprężonego powietrza wspomagających usuwanie detali z formy (w celu ukierunkowania i przyspieszenia tej czynności),
- planowanie możliwości kombinowanego sposobu usuwania wyprasek – za pomocą wyrzutnika wtryskarki oraz pneumatycznie,
- wykorzystywanie znormalizowanych szybkozłączy lub sprzęgieł do szybkiego i bezkolizyjnego podłączania mediów chłodzących,
- zapewnienie modułowej budowy form, gniazd i elementów formujących (co skutkuje możliwością: indywidualnego i dokładnego pozycjonowania poszczególnych gniazd, szybkiej wymiany elementów w razie awarii, obniżenia kosztów napraw).

Ponieważ formy wtryskowe do wyprasek cienkościennych muszą spełniać wysokie standardy, dlatego wykonuje się je z wykorzystaniem drogich materiałów i nowoczesnych metod obróbki. Oczywiście przekłada się to na wysoką cenę takich form, niejednokrotnie przekraczającą koszt zakupu wtryskarki.

Wtryskarki

Ze względu na specyficzne wymagania technologiczne i ekonomiczne stawiane maszynom do wtryskiwania szybkobieżnego powinny one mieć specjalne wyposażenie i odpowiednie parametry techniczne. Przede wszystkim muszą się charakteryzować dużą szybkością wtrysku. W tym celu wyposaża się je w akumulatory zapewniające prędkość wtrysku dochodzącą nawet do 1000 mm/s. Akumulatory powodują również przyspieszanie ruchów wyrzutnika i rdzeni bocznych oraz szybzy dojazd/odjazd agregatu wtryskowego (rys. 6).

Czas suchego cyklu wtryskarki musi być bardzo krótki – np. dla wtryskarki 200T wynosi on 1,4÷1,7 s. Niezbędna jest też wysoka wydajność uplastyczniana tworzywa w połączeniu z jego dobrą homogenizacją – zapewniają to elektryczne napędy ślimaków (ruch obrotowy) oraz ślimaki o zwiększonej długości (25D), wyposażone dodatkowo w strefy ścinające i mieszające, lub ślimaki barierowe (rys. 7).

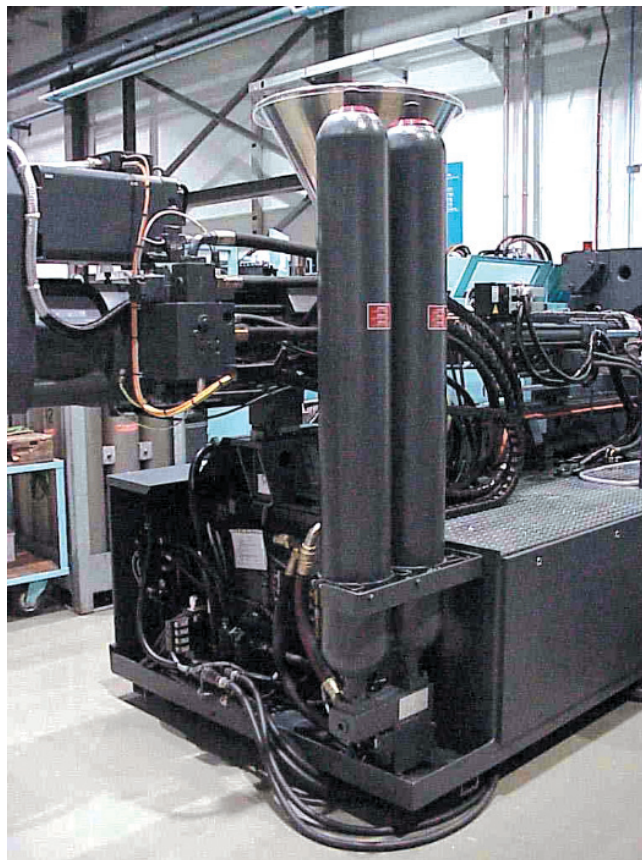
Ważną cechą wtryskarki jest możliwość uzyskiwania wysokiego ciśnienia wtrysku – minimum 1800÷2000 bar, co przekłada się na ciśnienie w gniazdach formy rzędu ok. 1000 bar. Maszyna powinna mieć zdolność realizowania niezależnych ruchów i równoległej pracy poszczególnych zespołów – np. ruchu wyrzutnika w trakcie otwierania

formy, uplastyczniana tworzywa w trakcie otwierania formy lub przerwy na usuwanie wyprasek, realizacji wtrysku tworzywa przed całkowitym zamknięciem formy (w celu poprawy jej odpowietrzenia).

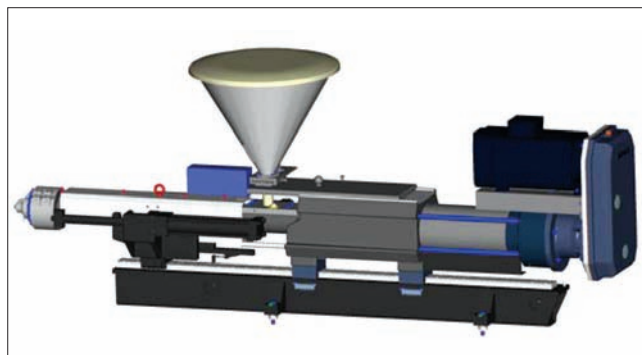
Odkształceniom konstrukcji podczas wtryskiwania tworzywa zapobiega sztywna rama. Odpowiednią sztywność muszą mieć także płyty mocujące (często stosowany jest zmniejszony otwór centrujący w płycie stałej).

Zabezpieczenie pracy formy powinno być realizowane w sposób aktywny – bez zmniejszania prędkości ruchów formy w trakcie jej zamykania.

Konieczność obniżania kosztów produkcji wyprasek wymusza stosowanie energooszczędnych napędów. Poza elektrycznym napędem ślimaka wykorzystuje się także rozwiązania ze zdecentralizowanym napędem jednostki zamykającej, gdzie napęd jest realizowany przez oddzielny silnik elektryczny, przekładnię hydrostatyczną i siłowniki zamykające układ kolanowo-dźwigniowy – pozwala to na użycie pompy o mniejszej mocy potrzebnej do obsługi pozostałych układów hydraulicznych (rys. 8).

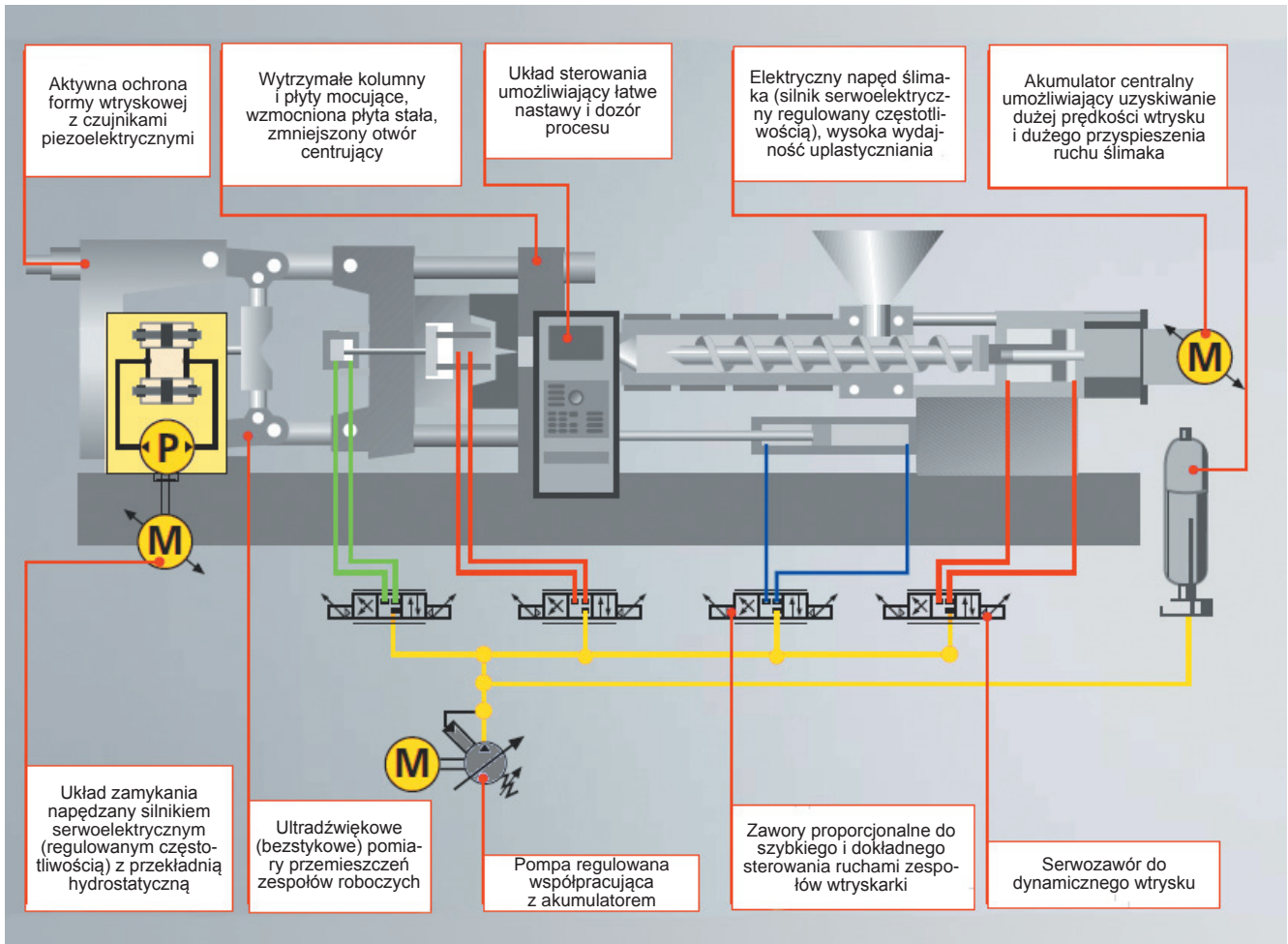


Rys. 6. Stacja akumulatorów [1]



Rys. 7. Układ uplastyczniana we wtryskarce szybkobieżnej [1]





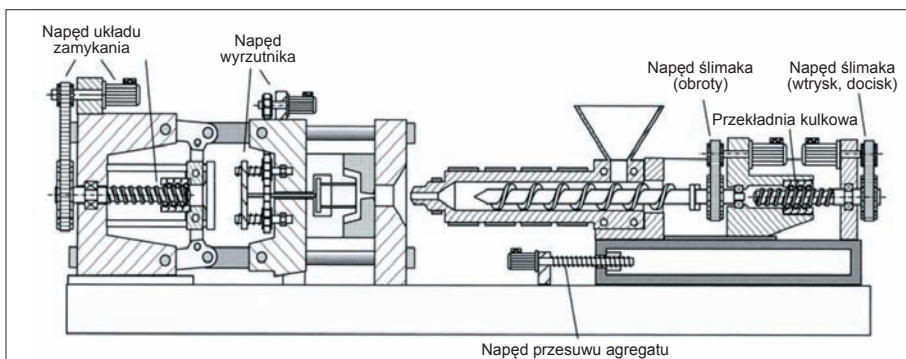
Rys. 8. Schemat ideowy napędu wtryskarki hybrydowej [1]

W zależności od konkretnego przypadku zalecane jest dodatkowe wyposażenie wtryskarki usprawniające jej współpracę z formą wtryskową, takie jak:

- dysze zamykane hydraulicznie lub pneumatycznie,
- kilka niezależnych obiegów sprężonego powietrza,
- zawory hydrauliczne do podłączeń rdzeni bocznych,
- zintegrowane sterowniki systemów GK,
- przyłącza do podłączania obiegów chłodzących – standardowe i dodatkowe, a niekiedy także o zwiększonym natężeniu przepływu do 30 l/min, ewentualnie sprzęgła szybkoobrotowe do zintegrowanych podłączeń mediów chłodzących,
- przyłącza do urządzeń peryferyjnych – robotów, dozowników, przenośników itp.,

- przyłącza do dodatkowych układów zabezpieczających (np. układu kontroli wypadania wyprasek).

Do wtrysku szybkoobrotowego stosowane są wtryskarki o napędach hybrydowych (hydrauliczno-elektrycznych) lub elektrycznych (rys. 9), rzadziej – hydraulicznych. W praktyce najefektywniejsze (zwłaszcza w produkcji cienkościennych opakowań) są wtryskarki z napędami hybrydowymi, choć te z napędami elektrycznymi dorównują im pod względem zużycia energii, szybkości działania (czasu suchego cyklu) czy prędkości wtrysku (ok. 500 mm/s). Prace rozwojowe nad napędami elektrycznymi nie były jednak ukierunkowane na ich zastosowanie we wtryskarkach szybkoobrotowych, zatem jest to kwestia przyszłości.



Rys. 9. Schemat ideowy napędu wtryskarki elektrycznej

Urządzenia peryferyjne

Aby zapewnić prawidłowy przebieg cyklu przy wtrysku szybkoobrotowym (uwzględniając masowy charakter produkcji oraz bardzo krótki czas cykli wtrysku), niezbędna jest współpraca zespołu wtryskarka – formą z szeregiem urządzeń peryferyjnych. Zależnie od rodzaju produkowanych wyprasek i wymagań jakościowych mogą to być:

- szybkobieżne roboty odbierające o prędkości ruchów roboczych porównywalnej z prędkością ruchów formy (w przypadku technologii IML roboty służą także do podawania i pozycjonowania etykiet), zazwyczaj umieszczone z boku maszyny,
- urządzenia kontrolujące jakość produkowanych wyprasek,
- urządzenia transportujące (taśmowe),
- urządzenia sztaplujące i pakujące.

W zakresie urządzeń peryferyjnych istnieje daleko posunięta specjalizacja. Przy kompletacji wyposażenia gniazda produkcyjnego do wytwarzania cienkościennych wyprasek potrzebna jest zatem ścisła współpraca pomiędzy dostawcami poszczególnych komponentów (producentem wtryskarek, narzędziownią, producentami urządzeń peryferyjnych, dostawcami surowców itd.).

Podsumowanie – kierunki rozwoju

Zapotrzebowanie rynku na wypraski cienkościenne od wielu lat utrzymuje się na bardzo wysokim poziomie, co uzasadnia prowadzenie prac rozwojowych nad wszystkimi aspektami wytwarzania wyprasek. Tendencje rozwojowe są następujące:

- **w zakresie materiałów i konstrukcji wyrobów:** rozszerzanie palety nowych materiałów do wszelkich zastosowań, opracowanie nowych rozwiązań zamknięć i zabezpieczeń opakowań, systematyczne wprowadzanie nowego wzornictwa opakowań (optymalizacja kształtów, dekorowanie powierzchni), rozszerzenie palety rozwiązań do wyrobów technicznych,
- **w zakresie technologii:** rozwój technologii IML oraz 2K (zwłaszcza połączeń typu twarde – miękkie),
- **w zakresie form wtryskowych:** zwiększanie wydajności procesu przez stosowanie większych krotności form oraz form piętrowych, wprowadzanie nowych materiałów narzędziowych oraz zabezpieczeń powierzchniowych,
- **w zakresie wtryskarek i urządzeń peryferyjnych:** zwiększanie kompleksowości usług (dostawa maszyny, form i urządzeń peryferyjnych przez jedną firmę – zazwyczaj producenta wtryskarek), rozszerzenie zastosowania szybkobieżnych robotów i urządzeń kontrolnych, wprowadzanie bardziej energooszczędnych maszyn (o napędach hybrydowych i elektrycznych), opracowanie nowych – wydajniejszych i efektywniejszych – układów uplastyczniających.

LITERATURA

1. Materiały techniczne firm: Sumitomo-Demag, Netstal, Husky, Stork.
2. Materiały techniczne firm: Kebo, Fostag, Schöttli, Hofstetter, Glarofom.
3. Zawistowski H. „Wtrysk z dużą szybkością”. *Symposium Plastech 1994*.
4. Tybura T. „Hybrydowy (elektryczno-hydrauliczny) napęd wtryskarki”. *Symposium Plastech 2000*.
5. Tybura T. „Nowe aspekty konstrukcyjne budowy nowoczesnych form wtryskowych na wyroby cienkościenne”. *Symposium Plastech 2003*.
6. ATI 978 d, e, Dünnpwandtechnik in der Mobiltelefonindustrie. Materiały techniczne firmy Bayer, 1997.
7. ATI 1150 d In-Mold-Decoration in Kombination mit Dünnpwandtechnik. Materiały techniczne firmy Bayer, 2001.
8. „Dünnpwandspritzguss kombiniert mit In-Mould-Labeling”. *Plastverarbeiter*. No. 5 (2004).
9. Zwierzyński A. „Wtryskiwanie wyrobów cienkościennych”. *PlastNews*. Nr 2 (2010). ■