

TOMASZ JACHOWICZ

Politechnika Lubelska
 Katedra Procesów Polimerowych
 ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
 e-mail: t.jachowicz@pollub.pl

Rozwiązania konstrukcyjne zespołów zamykająco-otwierających wtryskarek^{*)}

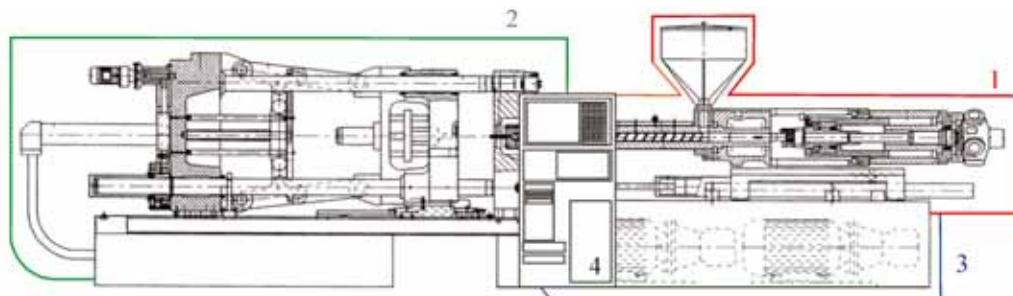
CONSTRUCTION OF CLAMPING UNITS OF INJECTION MOLDING MACHINES

Summary — Functions of clamping unit (Z-O) being a part of molding machine tool system have been presented. The factors characterizing the work and functional properties of Z-O unit were discussed. Criteria of such units' classification were defined and attempt to classify the units on the basis of these criteria has been done (Figs. 2—10). Currently used constructions of Z-O units were presented (Figs. 11, 12). The structure and principle of working of the latest or most characteristic Z-O units, in relation to particular groups of classification, as well as of uncharacteristic Z-O units showing interesting construction features (Figs. 13—15) were described. Additionally, the factors determining the changes in Z-O units constructions, the effect of construction on the performance characteristic as well as the latest trends in such units design (automation) were presented.

Key words: injection molding machines, clamping unit, principles of working, construction, performance characteristic.

Wtryskarki, obok wytłaczarek, stanowią najliczniejszą grupę maszyn wykorzystywanych do przetworstwa tworzyw polimerowych. Metodą wtryskiwania przetwarza się od 6,9 % do 24,3 % tworzyw w krajach europejskich, jednak wtryskarki są wykorzystywane znacznie częściej, ponieważ ich udział wśród maszyn przetwórczych wynosi w krajach Europy Zachodniej —

Każda wtryskarka, niezależnie od rozwiązania konstrukcyjnego, wymiarów i przeznaczenia, zawiera trzy podstawowe układy funkcjonalne, mianowicie: układ uplastyczniający, napędowy i narzędziowy (rys. 1). W każdym z tych układów występują elementy sterujące i regulacyjne, zapewniające prawidłowość pracy zarówno ich, jak i całej wtryskarki; niekiedy wyodrębnia



Rys. 1. Podstawowe układy funkcjonalne wtryskarki: 1 — układ uplastyczniający, 2 — układ narzędziowy, 3 — układ napędowy, 4 — układ sterowania i regulacji [2]

Fig. 1. Main functional units of injection molding machine: 1 — plasticizing unit, 2 — clamping unit, 3 — power unit, 4 — control unit [2]

34 %, w Stanach Zjednoczonych — 47 % oraz w Japonii 71 % [1].

^{*)} Wykład wygłoszony w ramach IX Profesorskich Warsztatów Naukowych „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Szczecin, Dziwnówek, 10—12 maja 2004 r.

się układ czwarty, zwany układem sterowania i regulacji [3].

W układzie narzędziowym wyróżnia się dwa podstawowe zespoły [4]. Pierwszy z nich to zespół narzędzia obejmujący formę wtryskową wraz z dwoma stołami wtryskarki. Drugi to zespół zamykająco-otwierający (Z-O), którego elementy składowe zależą od przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego, a nazwa całego układu narzędziowego pochodzi od nazwy zastosowanego w nim konkretnego zespołu zamykająco-otwierającego wtryskarki. Na przykład, zespół hydrauliczno-dźwigowy stanowią kolumny prowadzące, mechanizm dźwigonowy, siłowniki hydrauliczne i stół oporowy.

FUNKCJE I CZYNNIKI CHARAKTERYZUJĄCE ZESPÓŁ ZAMYKAJĄCO-OTWIERAJĄCY

Podstawowe funkcje zespołu Z-O [5] to zapewnienie prawidłowej kinematyki ruchu elementów konstrukcyjnych formy dostosowanej do określonych faz procesu wtryskiwania oraz wytworzenia wymaganej siły zamykania formy, uniemożliwiającej jej uchylenie w fazie wtrysku. Ponadto zespół Z-O powinien gwarantować wymaganą wartość skoku stołu wtryskarki, a także umożliwić uzyskanie odpowiednio dużej wartości siły otwierania formy, pozwalającej na efektywne usuwanie wyprasek z formy oraz zapobiegającej zakleszczaniu się elementów formy. Kolejną funkcją zespołu Z-O jest zapewnienie występowania w układzie narzędziowym wyłącznie naprężeń sprężystych wywoływanych siłami powstającymi w procesie wtryskiwania oraz zabezpieczenie odpowiedniej trwałości, funkcjonalności i niezawodności poszczególnych podzespołów i mechanizmów. Zespół zamykająco-otwierający wtryskarki powinien być również wyposażony w urządzenia zabezpieczające przed przypadkowym uruchomieniem maszyny oraz uszkodzeniem formy, a także gwarantujące bezpieczeństwo i komfort pracy.

Uniwersalność stosowania wtryskarek wiąże się przede wszystkim z zastosowanym rozwiązaniem konstrukcyjnym oraz układami: narzędziowym i uplastyczniającym. W ramach niniejszego opracowania zagadnienia dotyczące układu uplastyczniającego wtryskarki nie będą omawiane.

Do podstawowych czynników charakteryzujących zespół Z-O, określanych na etapie konstruowania i warunkujących poprawne użytkowanie maszyny przetwórczej, należy [6] siła zamykania i otwierania formy oraz siła wypychania wypraski, a także dopuszczalna powierzchnia wtryskiwania i pole powierzchni czynnej stołu wtryskarki. Ponadto do czynników charakterystycznych zalicza się czas zamykania i otwierania formy, odległość między kolumnami prowadzącymi (podawana w odniesieniu do zespołów kolumnowych), a także najmniejsza i największa wysokość formy, jak również skok stołu ruchomego oraz skok wyrzutnika.

Dopuszczalną powierzchnię wtryskiwania stanowi największa wartość powierzchni rzutu wypraski wraz z wlewką na płaszczyznę stołu, przy której nie występuje jeszcze uchylenie formy. Na powierzchnie te wpływają parametry związane z wartością i rozkładem ciśnienia tworzywa w formie, m.in. kształt i wymiar gniazda formującego oraz kanałów wlewowych, temperatura i ciśnienie wtryskiwania, a także rodzaj wtryskiwanego tworzywa i temperatura formy.

Siłą zamykania formy określa się siłę, jaką zespół Z-O wtryskarki wywiera na części formy. Wartość siły potrzebnej do zamykania formy zależy od powierzchni wtryskiwania, liczby i rozmieszczenia gniazd formujących w formie wtryskowej, właściwości wtryskiwanego tworzywa, warunków technologicznych procesu wtryskiwania (temperatury tworzywa, ciśnienia i prędkości wtryskiwania) oraz od konstrukcji formy.

Siła otwierania formy jest największą siłą z jaką forma jest otwierana za pomocą zespołu Z-O. Zależy ona w dużym stopniu od chropowatości gniazda formy i wartości naprężeń szczątkowych w wypraskach.

Siła wypychania wypraski stanowi siłę z jaką wyrzutnik wtryskarki działa na zderzak formy.

Czas zamykania i otwierania formy jest jednym z czynników bezpośrednio wpływających na wydajność wtryskarki, zależnym przede wszystkim od rodzaju przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego zespołu Z-O wtryskarki i zastosowanego w nim napędu.

Pole powierzchni stołu stanowi czynnik ograniczający wymiary możliwej do zainstalowania formy. Przyjmuje się, że pewne elementy formy mogą nieco wystawać poza powierzchnię stołu, jednak jest to niedopuszczalne w przypadku elementów przenoszących obciążenia.

Odległość między kolumnami prowadzącymi podaje się w dwóch kierunkach — pionowym i poziomym. Wartość tej odległości determinuje maksymalne wymiary zewnętrzne formy. Istotne znaczenie ma informacja o możliwości wysuwania kolumn prowadzących, bowiem takie rozwiązanie umożliwia montaż formy o większych wymiarach zewnętrznych.

Najmniejsza i największa wysokość formy zależy od przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego zespołu Z-O wtryskarki. We wtryskarkach z zamknięciem hydraulicznym największa wysokość formy jest uwarunkowana wyłącznie jej konstrukcją, gdyż siła zamykania może być tu wywierana w każdym położeniu stołu ruchomego; zatem nie podaje się wartości tej siły. Z kolei we wtryskarkach z hydrauliczno-dźwigowym zespołem Z-O siła zamykania jest uzyskiwana dopiero po zamknięciu formy, dlatego też znajomość jej wymiarów jest niezbędna do prawidłowego ustawienia odległości pomiędzy stołami wtryskarki.

Skok stołu ruchomego określa maksymalną wysokość wypraski możliwą do otrzymania w danej wtryskarce. W przypadku hydrauliczno-dźwigowych zespołów zamykająco-otwierających skok stołu ruchomego

ma wartość stałą. We wtryskarkach z zamknięciem hydraulicznym skok zależy od wysokości formy, zatem ewentualne zwiększenie wysokości odbywa się kosztem zmniejszenia skoku.

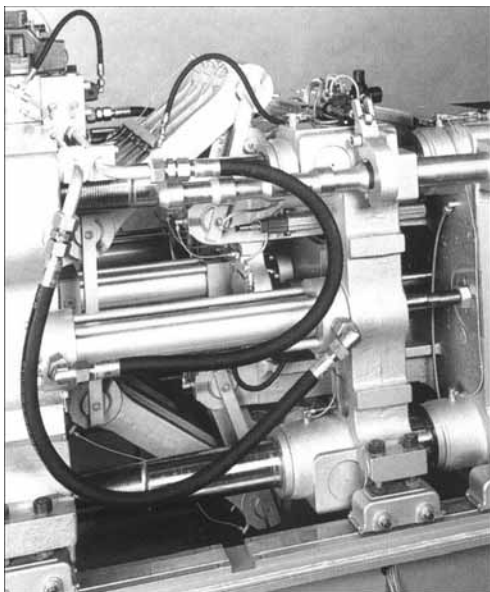
Skok wyrzutnika wtryskarki jest wielkością względnego przesunięcia wyrzutnika wtryskarki w stosunku do jej stołu ruchomego. Jeśli we wtryskarce zastosowano wyrzutnik nieruchomy, to skok wyrzutnika jest równy skokowi stołu ruchomego (pod warunkiem, że nie występują inne ograniczenia, spowodowane jego konstrukcją). Natomiast jeśli wyrzutnik jest ruchomy (zazwyczaj o napędzie hydraulicznym), to wartość jego skoku podaje się w charakterystyce wtryskarki.

KRYTERIA KLASYFIKACJI I PODZIAŁ ZESPOŁÓW ZAMYKAJĄCO-OTWIERAJĄCYCH

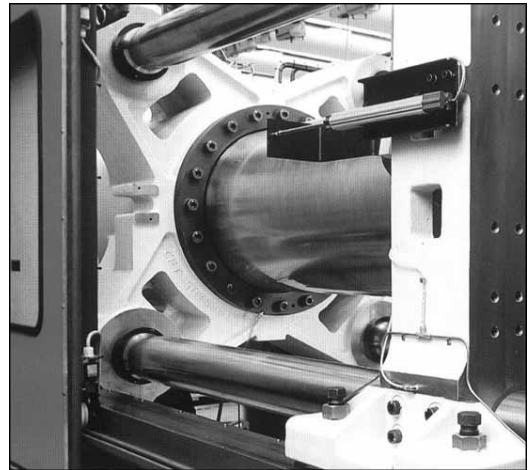
Zespoły zamykająco-otwierające wtryszarek dzieli się ze względu na [7, 8]:

- pochodzenie siły zamykania formy,
- rodzaj napędu służącego do wytworzenia siły zamykania,
- długość obwodu siły zamykania,
- rodzaj obwodu siły zamykania,
- kinematykę układu narzędziowego wtryskarki.

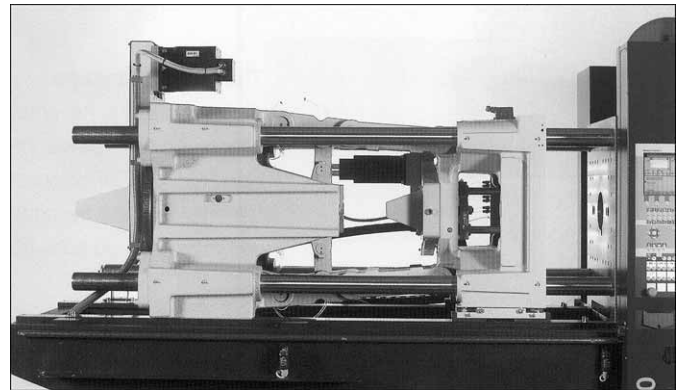
Podstawowym kryterium podziału zespołów Z-O jest pochodzenie siły zamykania formy. W związku z tym wyróżnia się dwie grupy zespołów Z-O. W pierwszej z nich (rys. 2) siła zamykania pochodzi od wewnętrznych naprężeń sprężystych w elementach wchodzących w skład zespołu Z-O, a cechą charakterystyczną jest występowanie mechanizmu dźwigniowego pojedynczego (jednoprzegubowego) lub podwójnego (dwi-



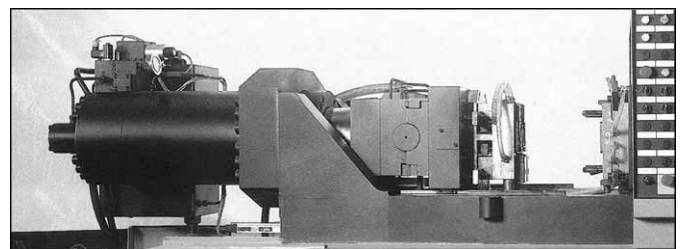
Rys. 2. Podwójny mechanizm dźwigniowy we wtryskarce firmy MBM serii KW [9]
Fig. 2. Toggle mechanism in injection molding machine by MBM, KW series [9]



Rys. 3. Siłownik hydrauliczny bezpośrednio zamykający formę we wtryskarce firmy Ferromatic Millacron [9]
Fig. 3. Hydraulic cylinder clamping the mold in injection molding machine by Ferromatic Millacron [9]

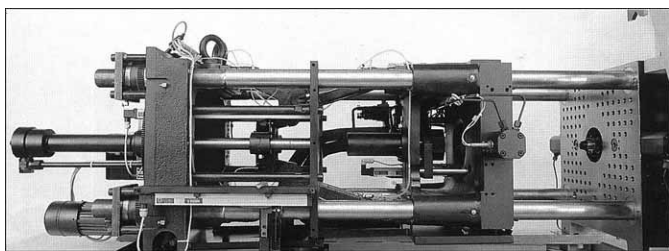


Rys. 4. Elektromechaniczny zespół Z-O we wtryskarce serii EM firmy Battenfeld [9]
Fig. 4. Electromechanical clamping unit in injection molding machine by Battenfeld, EM series [9]



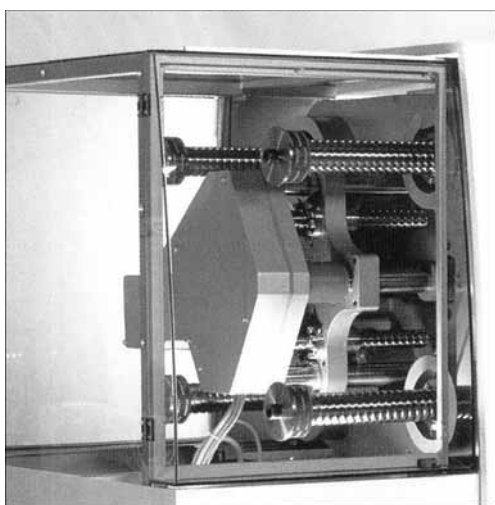
Rys. 5. Ciśnieniowy (hydrauliczny) zespół Z-O wtryskarki firmy Engel [9]
Fig. 5. Pressure (hydraulic) clamping unit in injection molding machine by Engel [9]

przegubowego). W drugiej grupie siłą zamykania formy stanowi siła zewnętrzna, która pochodzi od iloczynu ciśnienia czynnika roboczego i powierzchni czynnej tłoka (rys. 3).



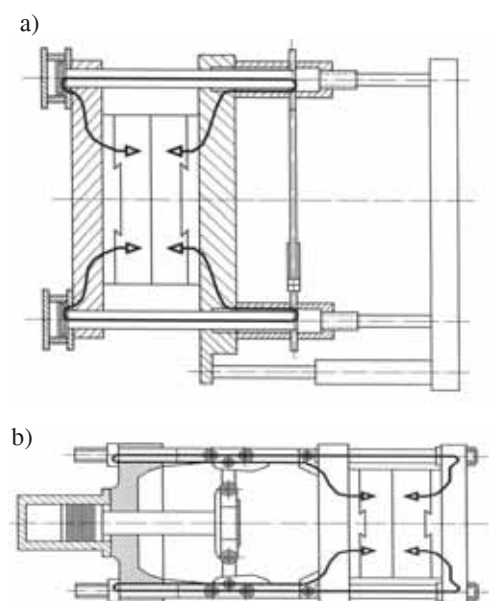
Rys. 6. Mieszany (hydrauliczno-dźwigniowy) zespół Z-O wtryskarki firmy Engel [9]

Fig. 6. Hybrid (hydraulic — mechanical) clamping unit in injection molding machine by Engel [9]



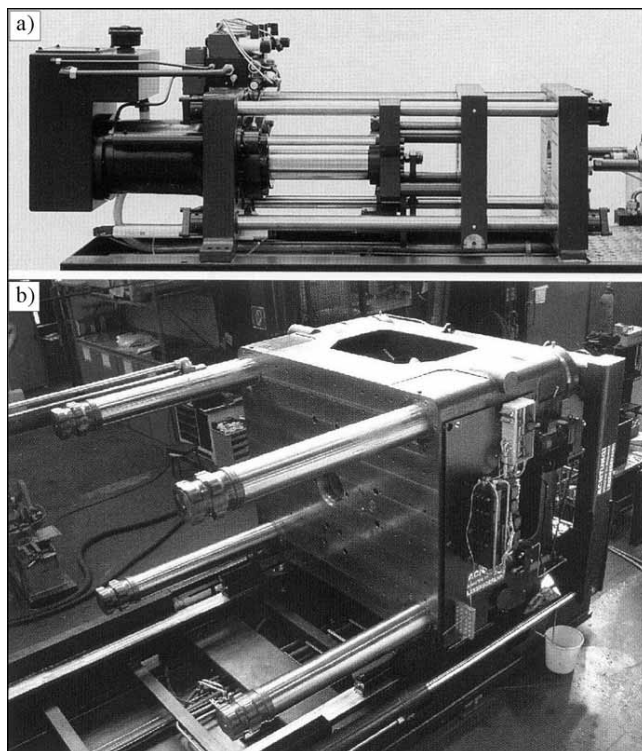
Rys. 7. Elektryczny zespół Z-O wtryskarki serii Eltec firmy Krauss Maffei [9]

Fig. 7. Electric clamping unit in injection molding machine by Kraus Maffei, Eltec series [9]



Rys. 8. Zespół Z-O działający w obwodzie krótkim (a) i długim (b) [7]

Fig. 8. Clamping unit working at either short force circuit (a) or long force circuit (b) [7]



Rys. 9. Zespoły Z-O działające w obwodzie siłowym nierozdzielanym (a, wtryskarka firmy Ferromatic Millacron) oraz w rozdzielanym (b, wtryskarka firmy Battenfeld) [9]

Fig. 9. Clamping units working at either non-sectional force circuit (a), Ferromatic Millacron injection molding machine) or sectional force circuit (b), Battenfeld injection molding machine) [9]

Według rodzaju napędu zespoły Z-O dzielą się na mechaniczne (rys. 4), ciśnieniowe (rys. 5), mieszane (zwane również hybrydowymi — rys. 6) oraz mechaniczne nowej generacji (zwane umownie elektrycznymi — rys. 7) [10].

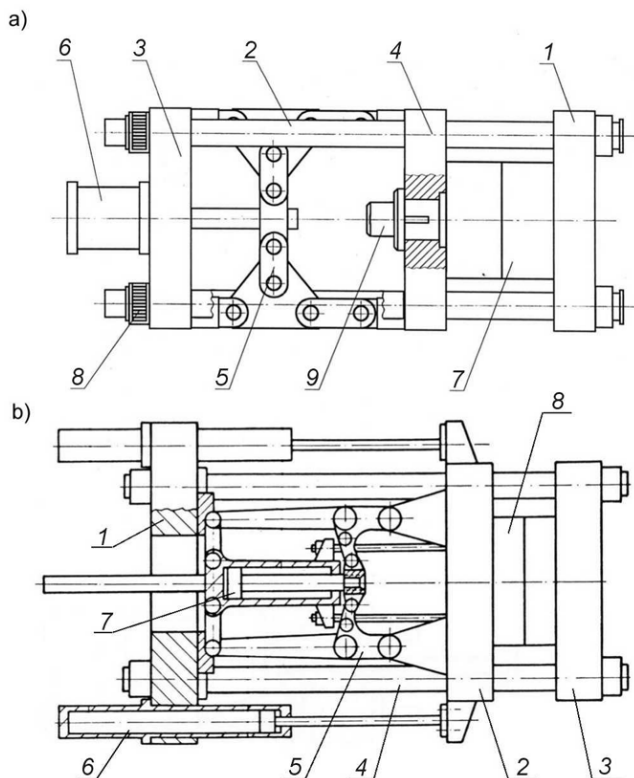
Ze względu na długość wywieranego obwodu siły zamykania formy wyróżnia się zespoły Z-O działające w długim oraz w krótkim obwodzie siłowym (rys. 8).

Według rodzaju obwodu siły zamykania i zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego zespoły zamykająco-otwierające dzieli się na działające w rozdzielanym oraz nierozdzielanym obwodzie siłowym (rys. 9). W tej grupie występują rozwiązania kolumnowe i bezkolumnowe.

Uwzględniając kinematykę działania, wśród zespołów Z-O występują zespoły jednostopniowe (prostego działania) oraz dwustopniowe (podwójnego działania) (rys. 10).

WAŻNIEJSZE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE ZESPOŁÓW ZAMYKAJĄCO-OTWIERAJĄCYCH

Zmiany wprowadzane w rozwiązaniach konstrukcyjnych zespołów zamykająco-otwierających stanowią główną przyczynę istnienia wielu ich odmian. Stosowa-



Rys. 10. Zespół Z-O jednostopniowy (a): 1 — stół nieruchomy, 2 — kolumna prowadząca, 3 — stół oporowy, 4 — stół ruchomy, 5 — mechanizm dźwigniowy, 6 — siłownik hydrauliczny, 7 — forma wtryskowa, 8 — nakrętka regulacyjna, 9 — wypychacz; zespół Z-O dwustopniowy (b): 1 — stół oporowy, 2 — stół ruchomy, 3 — stół nieruchomy, 4 — kolumna prowadząca, 5 — mechanizm dźwigniowy, 6 — siłownik szybkiego przesuwu, 7 — siłownik zamykania formy, 8 — forma wtryskowa

Fig. 10. One-stage Z-O unit (a): 1 — fixed plate, 2 — tie bar, 3 — stationary plate, 4 — moving plate, 5 — toggle mechanism, 6 — hydraulic cylinder, 7 — mold, 8 — adjusting nut, 9 — ejector. Double-stage Z-O unit (b): 1 — stationary plate, 2 — moving plate, 3 — fixed plate, 4 — tie bar, 5 — toggle mechanism, 6 — moving hydraulic cylinder, 7 — clamping hydraulic cylinder, 8 — mold

nie nowych rodzajów tworzyw polimerowych i związane z tym różnorodne sposoby wtryskiwania [11], konieczność wytwarzania coraz bardziej skomplikowanych wyprasek, rosnące wymagania dotyczące dokładności i jakości, a także ekonomiki wytwarzania elementów z tworzyw stanowią tylko niektóre czynniki wpływające na postęp w rozwoju konstrukcji zespołów Z-O [12, 13].

Pierwsze zespoły Z-O były napędzane ręcznie; zastąpiono je wkrótce konstrukcjami o napędzie mechanicznym i elektromechanicznym [7]. Mechaniczne zespoły Z-O w takiej postaci nie znalazły szerszego zastosowania ze względu na skomplikowaną budowę, złożoność sterowania i regulacji oraz stosunkowo wysokie koszty wykonania [14]. Obecnie rozwój silników elektrycznych

nowej generacji oraz zaawansowanych systemów sterowania komputerowego spowodował, że zespoły Z-O z napędem elektromechanicznym zyskały nowe, wysokie walory użytkowe, stając się podstawowym rozwiązaniem konstrukcyjnym we wtryskarkach z niewielką siłą zamykania, nazywanych umownie elektrycznymi. Zespoły zamykająco-otwierające o konstrukcji pneumatycznej lub pneumatyczno-mechanicznej nie znalazły zastosowania ze względu na ich małą sztywność.

Za klasyczne rozwiązania konstrukcyjne układów narzędziowych, najczęściej występujące w budowie współczesnych wtryskarek przemysłowych, uznaje się rozwiązania hydrauliczne i hydrauliczno-dźwigniowe, pracujące w nierozdzielanym obwodzie siłowym.

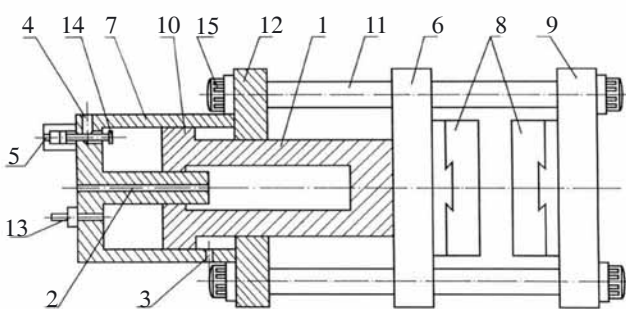
Hydrauliczne zespoły Z-O zarówno jednostopniowe, jak i dwustopniowe należą do grupy zespołów, w których siła zamykania formy i utrzymywania jej w położeniu zamkniętym jest w odniesieniu do samego zespołu siłą zewnętrzną [15]. Wartość siły zamykania i otwierania reguluje się jedynie ciśnieniem cieczy roboczej w układzie hydraulicznym w zależności od wartości ciśnienia wtryskiwania, zależnego m.in. od wymiarów wytwarzanych wyprasek. Do podstawowych zalet stosowania zespołów hydraulicznych zalicza się łatwość sterowania oraz dokładność regulacji siły zamykania i otwierania formy wtryskowej. Prosta konstrukcja układu hydraulicznego sprawiła, że wyparł on napęd mechaniczny i na długo stał się podstawowym źródłem napędu praktycznie dla wszystkich typów zespołów Z-O, zarówno tych o konstrukcji całkowicie hydraulicznej jak i hydrauliczno-dźwigniowych. Wady, takie jak znaczne zużycie energii oraz trudności w zachowaniu prawidłowej kinematyki ruchu stołu ruchomego wtryskarki, starano się wyeliminować wprowadzając na przykład napęd dwustopniowy lub pompy o zmiennej wydajności.

Dźwigniowe i hydrauliczno-dźwigniowe zespoły Z-O zalicza się do grupy zespołów, w których siła zamykania formy i utrzymywanie jej zamknięcia jest siłą wewnętrzną [15]. W zespołach tego typu szczelne przyleganie ruchomej i nieruchomej części formy uzyskuje się za pomocą siły wewnętrznej, wywołanej sprężystym odkształcaniem się poszczególnych członów zespołu Z-O (kolumn prowadzących i elementów mechanizmu dźwigniowego). W zespołach hydrauliczno-dźwigniowych dwustopniowych przyspieszony przesuw stołu ruchomego uzyskuje się przy użyciu siłowników hydraulicznych, natomiast siła zamykania i otwierania pochodzi od mechanizmu dźwigniowego. Podstawową zaletą zespołu Z-O o konstrukcji hydrauliczno-dźwigniowej jest zwielokrotnienie siły pochodzącej z siłownika hydraulicznego dzięki mechanizmowi dźwigniowemu, co pozwala na zastosowanie mniejszego siłownika o niższym zużyciu oleju, ciśnienia i energii. Ponadto hydrauliczno-dźwigniowy zespół Z-O charakteryzuje się większą prędkością zamykania formy oraz mniejszym ciężarem w porównaniu z zespołami o konstrukcji całkowicie hydraulicznej, a także zdolnością do samo-

rzutnego hamowania w końcowej fazie ruchu, co umożliwia bezuderzeniowe zamykanie formy.

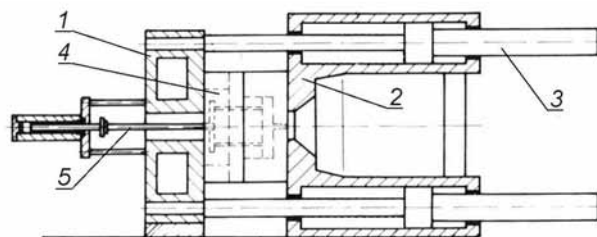
Tendencje w rozwoju procesu wtryskiwania polegają na zwiększaniu wydajności procesu (charakteryzującej się skróceniem czasu poszczególnych faz cyklu), ułatwianiu dostępu do przestrzeni roboczej formy (umożliwiającego automatyzację i robotyzację procesu wtryskiwania) oraz jej łatwiejszym montażu i demontażu [16]. Inne kierunki poszukiwania nowych rozwiązań konstrukcyjnych wtryskarek to zmniejszenie wymiarów maszyny oraz zużycia energii (co powoduje zmniejszenie kosztów materiałowych i użytkowania), a także kryteria ekologiczne, np. mała emisja zanieczyszczeń zarówno w procesie przetwórstwa tworzyw, jak i podczas koniecznej utylizacji materiałów eksploatacyjnych (m.in. zużytego oleju z układów hydraulicznych). Nowe typy zespołów Z-O umożliwiają zwiększenie stopnia automatyzacji procesu wtryskiwania, zwiększenie precyzji wykonania wyprasek, jak również wzrost elastyczności produkcji i jej wydajności.

Powyższe wymogi spełniają dwustopniowe hydrauliczne zespoły Z-O, w których uzyskano skrócenie czasu zamykania formy oraz zmniejszenie zużycia oleju w układzie hydraulicznym, a także ograniczenie długości układu narzędziowego [2]. Stosuje się w nich dwa podstawowe rodzaje rozwiązań konstrukcyjnych. W pierwszym z nich siłownik szybkiego przesuwu ma konstrukcję nurnikową, stanowiąc jednocześnie tłok w siłowniku głównym, służącym do wytworzenia siły zamknięcia formy (rys. 11). W drugim stosuje się układ kilku mniejszych siłowników, z których część ma za zadanie zapewnić szybki ruch stołu wtryskarki i dosunięcie go do nieruchomej części formy, natomiast siłę zamknięcia wytwarza bądź pojedynczy duży siłownik lub



Rys. 11. Hydrauliczny zespół Z-O podwójnego działania: 1 — cylinder szybkiego przesuwu, 2—5 kanały olejowe, 6 — stół ruchomy, 7 — cylinder główny, 8 — forma wtryskowa, 9 — stół nieruchomy, 10 — tłok siłownika głównego, 11 — kolumna prowadząca, 12 — stół oporowy, 13, 14 — zawory hydrauliczne, 15 — nakrętka regulacyjna

Fig. 11. Hydraulic double-stage clamping unit: 1 — moving hydraulic cylinder, 2 — 5 oil passages, 6 — moving plate, 7 — main cylinder, 8 — mold, 9 — fixed plate, 10 — piston of clamping cylinder, 11 — tie bar, 12 — stationary plate, 13, 14 — hydraulic valves, 15 — adjusting nut

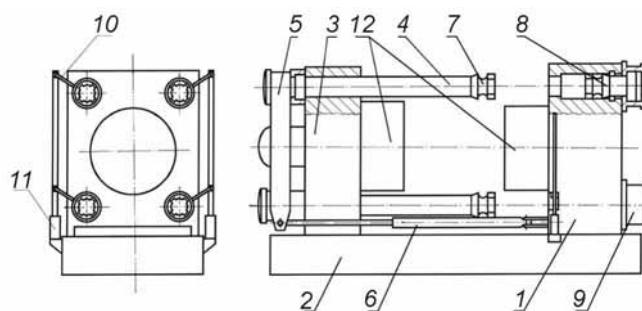


Rys. 12. Czterocylindrowy hydrauliczny zespół Z-O: 1 — stół ruchomy, 2 — stół nieruchomy, stanowiący integralną całość z cylindrami, 3 — siłownik hydrauliczny będący jednocześnie kolumną prowadzącą, 4 — forma wtryskowa, 5 — wypychacz [15]

Fig. 12. Four-cylinder hydraulic Z-O unit: 1 — moving plate, 2 — fixed plate joined with cylinders, 3 — hydraulic cylinder working as tie bar, 4 — mold, 5 — ejector [15]

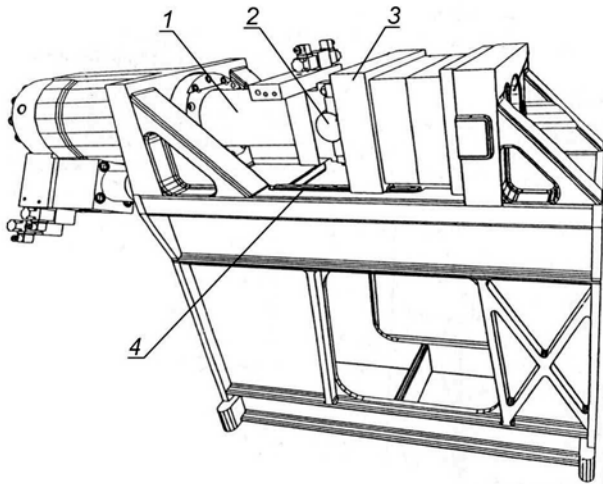
siłowniki działające oddzielnie na każdą z kolumn prowadzących wtryskarki (rys. 12). Zastosowane tu małe siłowniki o dużej szybkości przesuwu poruszające stołem ruchomym oraz siłownik główny wywierający siłę zamykania zużywają w sumie mniej oleju i potrzebują napędów o mniejszej mocy niż konwencjonalne rozwiązania konstrukcyjne o porównywalnej wartości siły zamknięcia formy.

W celu poprawienia dostępności do przestrzeni roboczej formy opracowano wtryskarki z wysuwanymi kolumnami prowadzącymi oraz wtryskarki bezkolumnowe. Cechą charakterystyczną wtryskarek z wysuwanymi kolumnami prowadzącymi [9] są specjalne zakończenia tych kolumn, umożliwiające blokowanie ich w zamkach znajdujących się w stole nieruchomym (rys. 13). W



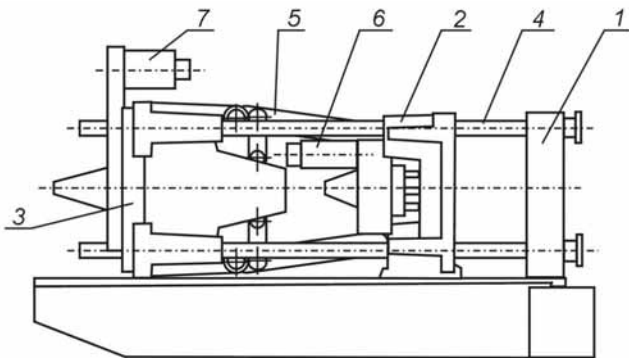
Rys. 13. Zespół Z-O z wysuwanymi kolumnami: 1 — stół nieruchomy, 2 — korpus wtryskarki, 3 — stół ruchomy, 4 — ruchoma kolumna prowadząca, 5 — stół oporowy, 6 — siłownik szybkiego przesuwu, 7 — czop, 8 — zamek, 9 — siłownik zwierający, 10 — dźwignie zamka, 11 — siłowniki zamka, 12 — forma wtryskowa [15]

Fig. 13. Retractable tie bar Z-O unit: 1 — fixed plate, 2 — main frame, 3 — moving plate, 4 — moving tie bar, 5 — stationary plate, 6 — moving hydraulic cylinder, 7 — pivot, 8 — tie bar lock, 9 — clamping hydraulic cylinder, 10 — locking levers of tie bar, 11 — hydraulic cylinders of tie bar lock, 12 — mold [15]



Rys. 14. Bezcolumnowy zespół Z-O we wtryskarce firmy Engel: 1 — silownik zamykający formę, 2 — przegub poziomy, 3 — stół oporowy, 4 — prowadnice na korpusie wtryskarki [2]
 Fig. 14. Tiebarless Z-O unit of Engel injection molding machine: 1 — clamping hydraulic cylinder, 2 — horizontal articulating joint, 3 — moving plate, 4 — guide bars [2]

odpowiedniej fazie cyklu wtryskiwania zamki są otwierane, a kolumny prowadzące wraz ze stołem ruchomym wycofują się do skrajnego zewnętrznego położenia, dając swobodny dostęp zarówno do przestrzeni roboczej formy w celu wyjęcia wypraski, jak i do stołów wtryskarki, umożliwiając wymianę formy wtryskowej. We wtryskarkach bezcolumnowych (rys. 14) stół ruchomy przesuwa się po prowadnicach integralnie związanych z korpusem wtryskarki. Siłownik hydrauliczny jest połączony ze stołem ruchomym za pomocą przegubu poziomego.



Rys. 15. Schemat elektrycznego zespołu Z-O we wtryskarce serii EM firmy Battenfeld: 1 — stół nieruchomy, 2 — stół ruchomy, 3 — stół oporowy, 4 — kolumna prowadząca, 5 — mechanizm dźwigniowy, 6 — silnik elektryczny napędzający wypychacz, 7 — silnik elektryczny poruszający mechanizm dźwigniowy

Fig. 15. Scheme of electric Z-O unit of Battenfeld injection molding machine, EM series: 1 — fixed plate, 2 — moving plate, 3 — stationary plate, 4 — tie bar, 5 — toggle mechanism, 6 — electric motor of ejector, 7 — electric motor of toggle mechanism

Dużą wydajność i spełnienie kryteriów ekologicznych zapewniają wtryskarki o napędzie elektrycznym (rys. 15), w których został całkowicie wyeliminowany napęd hydrauliczny, a więc i problemy związane z obecnością energochłonnej instalacji olejowej [17]. Nowe rozwiązania konstrukcyjne silników elektrycznych służą obecnie nie tylko do napędu mechanizmów dźwigniowych, przekładni zębatych, ślimakowych lub pasowych umożliwiając zamykanie i otwieranie formy, ale także zapewniają ustawianie wysokości formy, przesuw układu uplastyczniającego, napęd ruchu obrotowego i osiowego ślimaka oraz działanie wyrzutnika.

PODSUMOWANIE

We współczesnych zespołach Z-O wtryskarek nadal podstawowe znaczenie mają rozwiązania hydrauliczne i hydrauliczno-dźwigniowe. Rozwijająca się w ciągu ostatnich kilku lat technologia napędu elektromechanicznego zaczyna wypierać w stosowanych dotychczas wtryskarkach o małej i średniej sile zamykania formy (do 15 000 kN) rozwiązania hydrauliczne. Jednoznaczne wykazanie wyższości jednych z tych zespołów nad pozostałymi nie jest jeszcze możliwe [18]. Kompleksowa ocena właściwości użytkowych konkretnego zespołu Z-O jest sumą wielu czynników związanych z jego konstrukcją.

Z punktu widzenia zużycia energii najlepsze właściwości wykazują współczesne elektromechaniczne zespoły Z-O. Zmniejszenie poboru mocy w porównaniu z zespołami hydraulicznymi i hydrauliczno-dźwigniowymi o zbliżonej wartości siły zamykania sięga nawet 50 % [17]. Przetłoczenie w zespole hydraulicznym niekiedy dwudziestokrotnie większej objętości oleju (w porównaniu z zespołem hydrauliczno-dźwigniowym) przez przewody o stosunkowo niewielkim przekroju wiąże się z pokonywaniem dużych sił tarcia, powodujących nagrzewanie oleju i konieczność jego dodatkowego chłodzenia. Hydrauliczne zespoły Z-O wymagają zatem stosowania napędów o największej wydajności i zużywają najwięcej energii. Jedną z prób zmniejszenia zużycia oleju i energii w zespołach hydraulicznych jest wykorzystanie pomp o zmiennym wydatku, występujące m.in. we wtryskarkach firmy Boy [9], a także krajowych firmy Ponar-Żywiec.

Ze względu na niezawodność pracy i trwałość mechanizmów korzystniejsze jest stosowanie hydraulicznych zespołów Z-O o mniejszej liczbie części ruchomych, zwykle samoczynnie smarowanych, niż zespołów hydrauliczno-dźwigniowych lub elektromechanicznych, składających się z dużej ilości elementów, wymagających właściwej konserwacji.

Z analizy sztywności konstrukcji wynika, że zespół hydrauliczno-dźwigniowy jest sztywniejszy od zespołu całkowicie hydraulicznego. Sztywność zespołów elektromechanicznych z mechanizmem dźwigniowym w zakresie małych sił zamykania formy jest porównywalna ze sztywnością zespołów hydrauliczno-dźwigniowych.

W odniesieniu do równoległości stołów konkretne rozwiązanie konstrukcyjne w postaci zastosowania mechanizmu dźwigniowego bądź tłoka hydraulicznego nie wywiera istotnego wpływu na poprawienie takiej równoległości, natomiast zespoły elektromechaniczne charakteryzują się dużą dokładnością ruchów i tolerancją przesuwu sięgającą 0,01 mm.

Pod względem regulacji siły zamykania formy pierwszeństwo należy przyznać hydraulicznym zespołom zamykająco-otwierającym. W warunkach stałości ciśnienia uzyskuje się stałą wartość siły zamykania, która ponadto nie ulega zmianom pod wpływem ciepła wydzielającego się w narzędziu i maszynie. Wartość ciśnienia można dobrać w prosty i powtarzalny sposób. W przypadku mechanizmu dźwigniowego regulacja siły jest utrudniona, bowiem jej wartość zależy od odkształcenia sprężystego kolumn prowadzących i mechanizmu dźwigniowego [19]. Wprawdzie pomiary takich odkształceń nie są obecnie skomplikowane, nie można ich jednak (a związku z tym i wartości siły zamykania) wyznaczyć z góry. Prowadzi to do tego, że tylko w wyjątkowych przypadkach siła zamykania jest dopasowana do warunków przetwórstwa w sposób optymalny. Obecnie stosowane sposoby regulacji siły zamykania w mechanizmach dźwigniowych nie są wystarczające, a ich dokładność znacznie ustępuje rozwiązaniom opartym na systemach hydraulicznych.

Z punktu widzenia kinematyki ruchu stołu ruchomego najlepsze właściwości mają zespoły elektromechaniczne. Bardzo duża dynamika i szybkość ruchów roboczych, krótki czas opóźnienia ruchu oraz łatwość sterowania prędkością silników elektrycznych — wszystko to umożliwia zmniejszenie zużycia formy wtryskowej. Dobrymi właściwościami charakteryzują się zespoły zamykająco-otwierające o konstrukcji dźwigniowo-hydraulicznej. Mechanizmy dźwigniowe wykazują właściwości samorzutnego hamowania, wynikające z kinematyki ich działania. W zespołach hydraulicznych za wyhamowanie stołu ruchomego jest odpowiedzialny zawór hydrauliczny, mający określoną tolerancję czasu przełączania, wpływającą na przedłużanie się czasu zamykania formy wtryskowej; jest to szczególnie niepożądane ze względów ekonomicznych.

Projektowanie nowych konstrukcji zespołów Z-O układu narzędziowego wtryskarek wiąże się nierozdzielnie z rozwojem przetwórstwa tworzyw polimerowych oraz wzrastającym stopniem jego automatyzacji i robotyzacji. Zmiany konstrukcji omawianych zespołów wynikają z wymagań ekonomicznych współczesnego rynku, który za warunek konieczny stawia wykorzystywanie układów komputerowych do sterowania i regulacji procesu przetwórstwa. Stosowanie robotów przemysłowych oraz wzrost ich udziału w procesie wtryskiwania wiąże się ze zmianami konstrukcji układu narzędziowego wtryskarki, zwłaszcza zaś zespołu zamykająco-otwierającego. Nowe rozwiązania konstruk-

cyjne tych zespołów w porównaniu z dotychczas wykorzystywanymi konstrukcjami odznaczają się przede wszystkim stosunkowo dużymi odległościami między stołami i dużym skokiem stołu ruchomego. Usunięcie kolumn prowadzących (zespoły bezkolumnowe) oraz zastosowanie konstrukcji wysuwanych kolumn prowadzących pozwoliło na zwiększenie dostępu do przestrzeni zamykania formy i jednocześnie na uproszczenie konstrukcji robotów odbierających wypraski. Ponadto nowe rozwiązania konstrukcyjne opracowuje się w kierunku zmniejszenia wymiarów zespołów Z-O (głównie długości), skrócenia czasu zamykania i otwierania formy w celu zwiększenia wydajności produkcji, jak również zmniejszenia tarcia w zespole zamykająco-otwierającym i zredukowania ilości cieczy w układach hydraulicznych w celu ograniczenia zużycia energii przez wtryskarke.

LITERATURA

1. Sikora R.: *Polimery* 1993, **38**, 474.
2. Praca zbiorowa: „Kunststoff Maschinen Führer” (red. Johannaber F.), Carl Hanser Verlag, Monachium—Wiedeń 1992.
3. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Garbarski J.: *Przeg. Mech.* 1982, **19**, 1.
5. Zawistowski H., Frenkler D.: *Polimery* 1979, **24**, 129.
6. Zawistowski H., Frenkler D.: „Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984.
7. Kalichev E., Kalicheva E. I., Sakovcheva M. B.: „Oborudovanie dlja litija plastmass pod davleniem”, Izd. Mashinostroen, Moskwa 1985.
8. Sikora R., Jachowicz T.: *Przetwórstwo Tworzyw* 1981, nr 1, 16.
9. Materiały katalogowe firm Billion, Engel, Hemscheidt, Fanuc, Mannesmann Demag, Husky, Krauss Maffei, Battenfeld, HPM, Ferromatic Milacron, Ponar-Żywiec.
10. Zawistowski H.: *TS Raport* 2002, zeszyt 27, 26.
11. Smorawiński A.: „Wtrysk elastomerów”, Plastech, Warszawa 2001.
12. Mapleston P.: *Mod. Plast. Int.* 1996, **26**, nr 7, 97.
13. Sikora R.: *Polimery* 1996, **41**, 277.
14. Jachowicz T., Sikora R.: *Przetwórstwo Tworzyw* 1998, nr 2, 13.
15. Johannaber F.: „Injection Molding Machines. User's Guide”, Carl Hanser Verlag, Monachium 1994; Johannaber F.: „Wtryskarki. Poradnik użytkownika”, Plastech, Warszawa 2000.
16. Siegert P., Fuchler K.: *Kunststoffe* 1991, **81**, 398.
17. Kwiecień J.: *Vademecum Tworzyw Sztucznych* 2000, nr 1, 8.
18. Kirkland C.: *Plast. Rev.* 2003, zeszyt 24, 44.
19. Frenkler D., Zawistowski H.: *Mechanik* 1979, **52**, 487.