

TOMASZ JACHOWICZ

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

Wtryskarki elektryczne^{*)}

Streszczenie — Przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące budowy współczesnych wtryskarek z napędem całkowicie elektrycznym. Scharakteryzowano nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne układów narzędziowych i układów uplastyczniających w tego rodzaju wtryskarkach. Omówiono przy tym budowę układów narzędziowych o konstrukcji dwupłytkowej i trójpłytkowej oraz rozwiązania konstrukcyjne z kolumnami i bezkolumnowe, a także zmiany w budowie napędu układu uplastyczniającego. Scharakteryzowano wpływ napędu elektrycznego na parametry użytkowe wtryskarki oraz uwypuklono zalety i wady zastosowania tego nowego napędu we wtryskarkach ślimakowych.

Słowa kluczowe: wtryskarka, napęd elektryczny, układ uplastyczniający, układ narzędziowy, konstrukcja, wydajność procesu.

ALL-ELECTRIC INJECTION MOLDING MACHINES

Summary — General problems concerning the structure of modern all-electric injection molding machines were presented. Advanced engineering designs of the clamping systems (Fig. 1—10) and plasticizing systems (Fig. 11—13) in the discussed injection molding machines have been characterized. The constructions of two-plate and three-plate clamping units as well as constructional solutions with tie-bars or tie-bar-less ones, and the changes in plasticizing unit drive were discussed. An influence of electric drive on the functional properties of injection molding machine has been characterized. Advantages and disadvantages of application of electric drive in the worm injection molding machines were stressed (Fig. 14).

Key words: injection molding machine, electric drive, plasticizing unit, clamping unit, construction, process efficiency.

Wtryskarki, obok wyciśzarek, stanowią najliczniejszą grupę maszyn wykorzystywanych do przetwórstwa tworzyw polimerowych. Każda wtryskarka, niezależnie od jej rozwiązania konstrukcyjnego, wymiarów i przeznaczenia, ma trzy podstawowe układy funkcjonalne: uplastyczniający, napędowy oraz narzędziowy. W każdym z nich występują elementy sterujące i regulacyjne, zapewniające prawidłowość pracy danego układu oraz wtryskarki jako całości; niekiedy wyodrębnia się je w czwarty układ, zwany układem sterowania i regulacji [1, 2].

Po początkowych próbach stosowania napędów mechanicznych [3], które to próby nie dały zadowalających efektów, przez długie lata wtryskarki były napędzane w sposób hydrauliczny lub hydrauliczno-mechaniczny i te rozwiązania konstrukcyjne uważa się dzisiaj za klasyczne [4, 5]. Nieustający rozwój przemysłu tworzyw

polimerowych, obniżanie kosztów produkcji i zwiększanie jej wydajności, nowe metody wtryskiwania oraz konieczność automatyzacji i robotyzacji wtryskowni przyczyniały się do modernizacji istniejących oraz tworzenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych, głównie dotyczących układu uplastyczniającego i narzędziowego.

Wprowadzane z biegiem lat zmiany w rozwiązaniach konstrukcyjnych zespołów zamykająco-otwierających układu narzędziowego wtryskarek stanowią główną przyczynę istnienia wielu ich odmian [6]. Stosowanie nowych rodzajów tworzyw polimerowych i związane z tym różnorodne odmiany wtryskiwania, konieczność wytwarzania coraz bardziej skomplikowanych wyprasek, rosnące wymagania dotyczące jakości i ekonomiki wtryskiwania — to tylko niektóre czynniki wpływające na postęp w rozwoju konstrukcji zespołów zamykająco-otwierających. W grupie maszyn z napędem hydraulicznym powstały wtryskarki w układzie dwupłytkowym, z wysuwanymi kolumnami prowadzącymi oraz prowadnicowe (bezkolumnowe). W celu zwiększenia szybkości oraz zmniejszenia zużycia oleju zastosowano we wtryskarkach hydraulicznych pompy o zmiennej

^{*)} Artykuł przedstawia treść wystąpienia wygłoszonego w ramach XI Profesorskich Warsztatów Naukowych „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Pieczęta k. Bydgoszczy, 11—14 czerwca 2006 r.

wydajności, a także wykorzystano układy wielosiłownikowe z małymi silownikami o niewielkim wydatku oleju [7, 8].

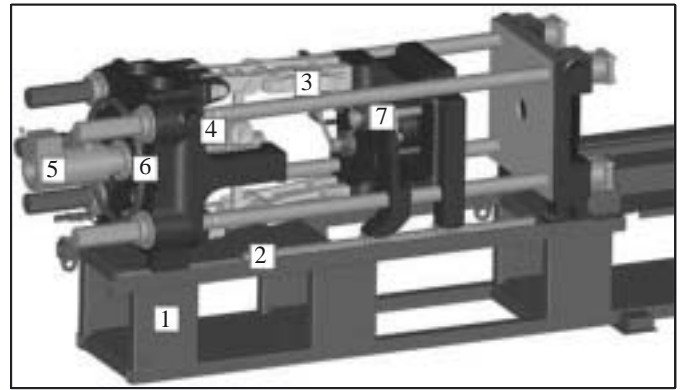
Historia wtryskarek z napędem elektrycznym sięga początków lat sześćdziesiątych XX stulecia, jednakże dynamiczny rozwój maszyn tego typu nastąpił dopiero w drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych [6]. Występujący ostatnio intensywny rozwój konstrukcji silników elektrycznych, systemów pomiarowych oraz techniki komputerowej wpłynął na wyraźne zwiększenie możliwości układu sterowania i regulacji wtryskarki. Pozwoliło to na efektywne zastosowanie nowoczesnych silników elektrycznych do napędu poszczególnych ruchów tej maszyny, dotychczas realizowanych wyłącznie przez układy hydrauliczne lub hydrauliczno-mechaniczne [9]. Niewątpliwym wpływem na wprowadzenie napędu elektrycznego we wtryskarkach miały czynniki związane z ochroną środowiska oraz zużywaniem zasobów energetycznych, między innymi takie jak mniejsze zużycie energii przez maszynę, niższy poziom hałasu, mniejsza emisja ciepła do otoczenia oraz rezygnacja ze stosowania oleju hydraulicznego. Dzięki wielu zaletom charakteryzującym napęd elektryczny, skutecznie wypiera on dotychczasowe klasyczne rozwiązania hydrauliczne i hydrauliczno-mechaniczne, zwłaszcza w grupie wtryskarek o małej i średniej sile zamykania formy [10].

UKŁAD NARZĘDZIOWY

W układzie narzędziowym wtryskarki wyróżnia się dwa podstawowe zespoły funkcjonalne. Pierwszym z nich jest zespół narzędzia, w którego skład wchodzi forma wtryskowa wraz z dwoma stołami [11], a drugi to zespół zamykająco-otwierający (Z-O) z elementami składowymi uzależnionymi od przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego. Główne elementy klasycznego zespołu Z-O o konstrukcji trójpłytkowej stanowią płyty: oporowa, ruchoma i nieruchoma (zwane także stołami), kolumny prowadzące, mechanizm dźwigniowy wraz ze źródłem napędu (poruszającym go silnikiem hydraulicznym lub silnikiem elektrycznym) oraz mechanizm do regulacji wysokości formy (z napędem łańcuchowym lub centralnym wieńcem zębatym) [4]. W nowych zespołach zamykająco-otwierających część tych elementów nie występuje lub jest zastąpiona innymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi.

We wtryskarkach elektrycznych wyróżnia się kilka rodzajów rozwiązań konstrukcyjnych napędu zespołu Z-O. W niektórych wykorzystuje się wieloletnie doświadczenia rozwiązań klasycznych, stosowanych w trójpłytkowych układach narzędziowych, natomiast część to rozwiązania nowe, uwzględniające unikatowe możliwości silników elektrycznych nowej generacji „High-Torque”.

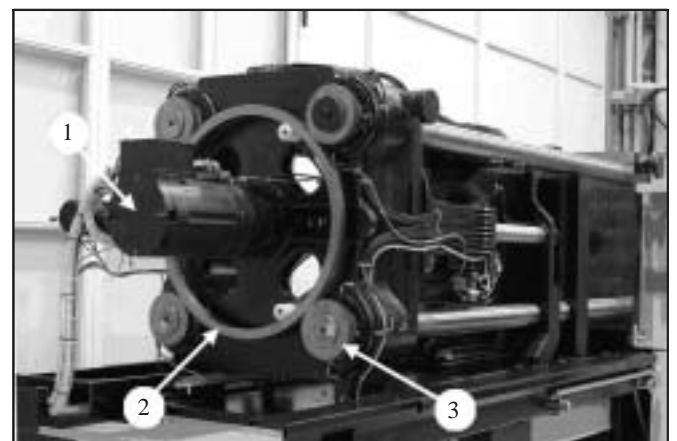
Na przykład, klasyczny, wywodzący się z konstrukcji wtryskarek z napędem hydrauliczno-mechanicznym, trójpłytkowy kolumnowy układ narzędziowy z podwój-



Rys. 1. Klasyczny trójpłytkowy kolumnowy układ narzędziowy: 1 — korpus wtryskarki, 2 — prowadnice, 3 — mechanizm dźwigniowy, 4 — śruba pociągowa z nakrętką kulową, 5 — silnik elektryczny, 6 — mechanizm regulacji wysokości formy wtryskowej, 7 — wypychacz [13] (por. tekst)

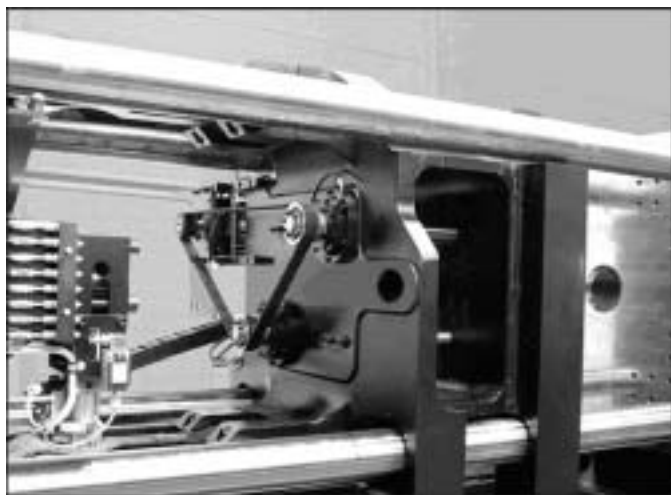
Fig. 1. Classical three-plate tie-bar clamping unit: 1 — frame of injection molding machine, 2 — guides, 3 — link mechanism, 4 — guide-screw with ball nut, 5 — electric motor, 6 — mold height adjustment, 7 — ejector [13] (see text)

nym mechanizmem dźwigowym zastosowano we wtryskarce elektrycznej firmy Engel [12], przedstawionej na rys. 1. Napędy mechanizmu dźwigniowego oraz wypychacza wypraski, a także regulacja wysokości formy wtryskowej są realizowane przy użyciu odrębnych silników elektrycznych. Przeniesienie napędu z silnika elektrycznego na mechanizm dźwigowy jest przekazywane za pomocą pary kinematycznej śruba-nakrętka. W tym rozwiązaniu konstrukcyjnym kolumny prowadzące stanowią elementy służące jedynie do wytworzenia siły zamknięcia formy, pochodzącej od naprężeń



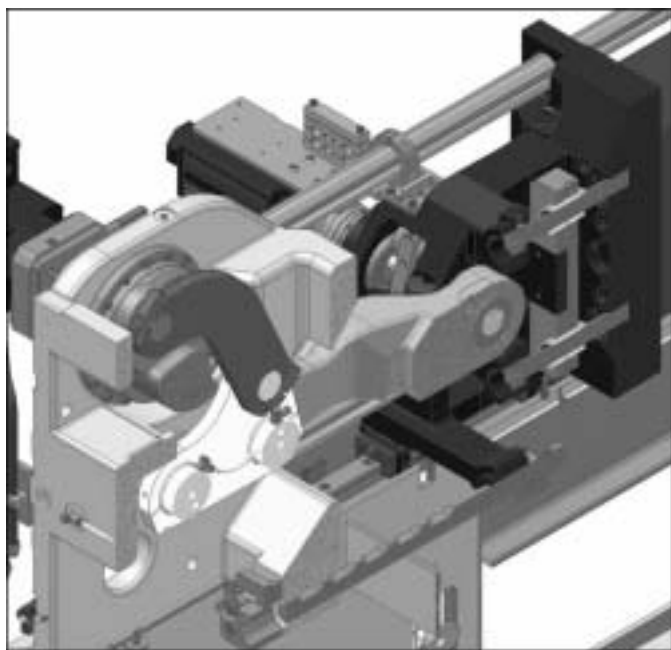
Rys. 2. Widok płyty oporowej układu narzędziowego o budowie klasycznej: 1 — napęd mechanizmu dźwigowego, 2 — pierścieni zębaty do ustawiania wysokości formy, 3 — nakrętka [13]

Fig. 2. View of base plate of classical clamping unit: 1 — link mechanism drive, 2 — ring gear for mold height adjustment, 3 — nut [13]



Rys. 3. Napęd wypychacza realizowany za pomocą paska zębatego [13]

Fig. 3. Ejector drive realized via cogbelt [13]



Rys. 4. Pięciopunktowy mechanizm dźwigniowy o zwartej budowie w układzie dwupłytyowym [13] (por. tekst)

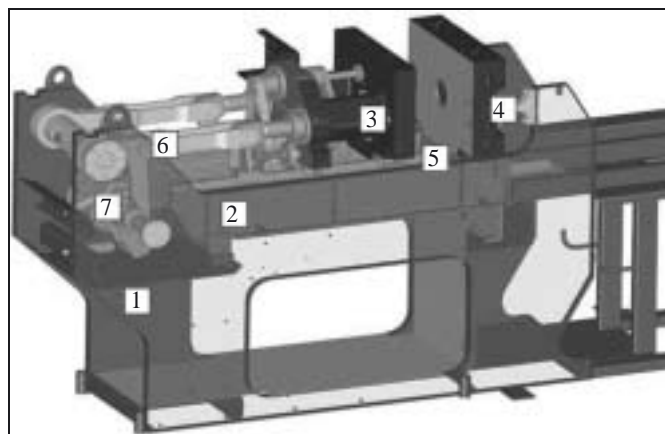
Fig. 4. Five-point compact link mechanism in two-plate system [13] (see text)

sprężystych powstałych na skutek odkształcania się kolumn. Zadaniem precyzyjnego prowadzenia formy wtryskowej są natomiast obciążone prowadnice liniowe znajdujące się na korpusie wtryskarki i współpracujące z elementami ślizgowymi, związanymi konstrukcyjnie z płytą ruchomą. Takie rozdzielanie w dźwigniowym mechanizmie zamykająco-otwierającym funkcji wytworzenia siły oraz funkcji pozycjonowania pozwoliło na wydadne skrócenie czasu zamykania i otwierania formy, który w tak zwanym cyklu suchym osiąga wartość $< 1,5$ s [9]. Regulację wysokości formy oraz wartości siły za-

mykania przeprowadza się przy użyciu pierścienia zębatego (rys. 2), współpracującego z czterema nakrętkami, znajdującymi się na końcach kolumn prowadzących. Napęd ruchów wypychacza odbywa się z wykorzystaniem paska zębatego [13], co przedstawia rys. 3.

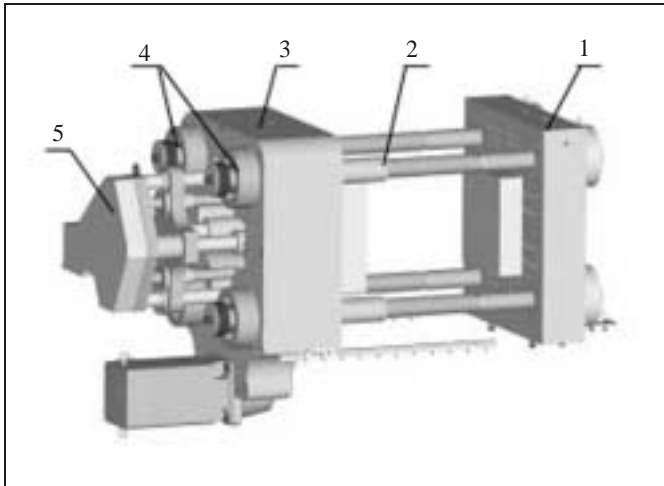
W celu zmniejszenia wymiarów układu narzędziowego, zmianom konstrukcyjnym poddaje się mechanizm dźwigniowy, mający w przypadku wtryskarki firmy E-LION układ korbowodowy, charakteryzujący się zwartą, kompaktową budową (rys. 4). Układ narzędziowy ma konstrukcję dwupłytyową [12]. Mechanizm do regulacji wysokości formy wtryskowej znajduje się na płycie stałej, od strony dyszy wtryskowej. Rozwiązanie takie przyczyniło się do znacznego ograniczenia całkowitej długości wtryskarki; przykładem tego może być maszyna o sile zamknięcia wynoszącej 1750 kN, mająca długość 5262 mm [13]. Podobnie jak w przypadku opisywanej wcześniej wtryskarki firmy Engel, układ narzędziowy ma wprawdzie budowę kolumnową, ale kolumny prowadzące służą tylko do przenoszenia siły zamykającej, natomiast dokładne prowadzenie stołu ruchomego jest realizowane za pomocą specjalnych elementów ruchomych montowanych na ramie wtryskarki.

Istnieją także rozwiązania konstrukcyjne zespołów Z-O, w których zastosowano mechanizm dźwigniowy, ale bez walcowych kolumn prowadzących. Zastąpiono je prowadnicami liniowymi znajdującymi się w specjalnej ramie wewnętrznej (zwanej prowadzącą) osadzonej w korpusie wtryskarki. Płyta ruchoma jest połączona z mechanizmem dźwigniowym przegubem kulowym lub przegubem elastycznym [12]. Rozwiązanie takie, występujące we wtryskarce „E-Motion” firmy Engel

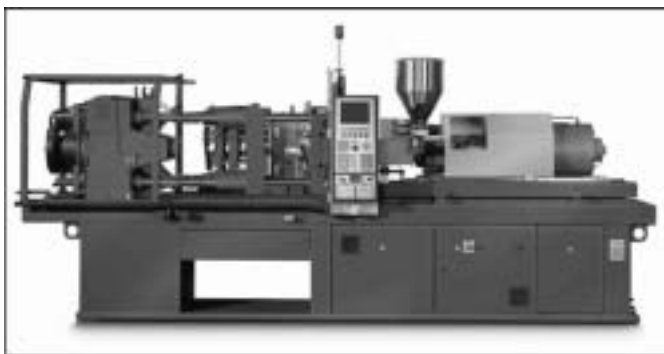


Rys. 5. Bezcolumnowy układ narzędziowy napędzany mechanizmem korbowodowym: 1 — rama główna, 2 — rama pośrednia, 3 — płyta ruchoma, 4 — przegub elastyczny, 5 — prowadnice, 6 — mechanizm dźwigniowy, 7 — mechanizm korbowodowy z silnikiem elektrycznym [13]

Fig. 5. Tie-bar-less clamping unit driven by connecting-rod mechanism: 1 — base frame, 2 — guide frame, 3 — moving plate, 4 — flexible joint, 5 — guides, 6 — link mechanism, 7 — connecting-rod mechanism with electric motor [13]



Rys. 6. Dwupłytowy układ narzędziowy: 1 — płyta nieruchoma, 2 — kolumna prowadząca, 3 — płyta ruchoma, 4 — silniki napędzające płytę ruchomą, 5 — napęd wytwarzający siłę zamykania formy oraz poruszający wypychacze [12]
 Fig. 6. Two-plate clamping unit: 1 — stationary plate, 2 — tie-bar, 3 — moving plate, 4 — motors actuating the moving plate, 5 — drive for clamping unit and ejectors [12]



Rys. 7. Wtryskarka „IntElect” firmy Demag Plastic Group z klasycznym dźwigniowym układem narzędziowym o pięciopunktowym mechanizmie dźwigniowym [13]
 Fig. 7. „IntElect” injection molding machine, by Demag Plastic Group, with classical clamping unit of five-point link mechanism [13]

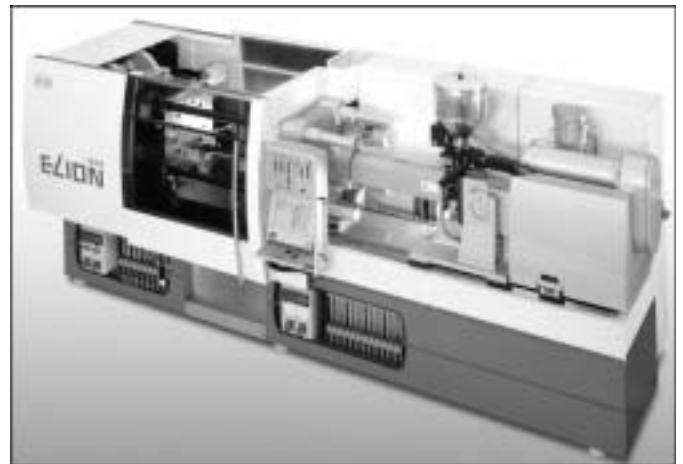
[13], pokazano na rys. 5. Bezcolumnowy układ narzędziowy umożliwia bardzo dobry dostęp do formy, co jest zwłaszcza przydatne w automatyzacji i robotyzacji stanowisk wtryskowych.

Inne jeszcze rozwiązanie stanowi stosowany w układzie dwupłytowym napęd stołu ruchomego za pomocą silników synchronicznych „High-Torque”. Z każdą z czterech kolumn prowadzących współpracuje tu oddzielny silnik elektryczny, tworząc parę kinematyczną śruba-nakrętka. Przykład takiego rodzaju napędu [13], wykorzystanego we wtryskarce „Eltec” firmy Krauss Maffei, ilustruje rys. 6.

W początkowym okresie rozwoju konstrukcyjnego, wtryskarki z napędem elektrycznym znajdowały się



Rys. 8. Wtryskarka „E-Motion E55” firmy Engel z bezcolumnowym układem narzędziowym [13]
 Fig. 8. „E-Motion E55 injection molding machine, by Engel, with tie-bar-less clamping unit [13]



Rys. 9. Wtryskarka „E-Lion” firmy Netstal z układem narzędziowym wyposażonym w mechanizm korbowodowy [13]
 Fig. 9. „E-Lion” injection molding machine, by Netstal, with clamping unit equipped with connecting-rod mechanism [13]



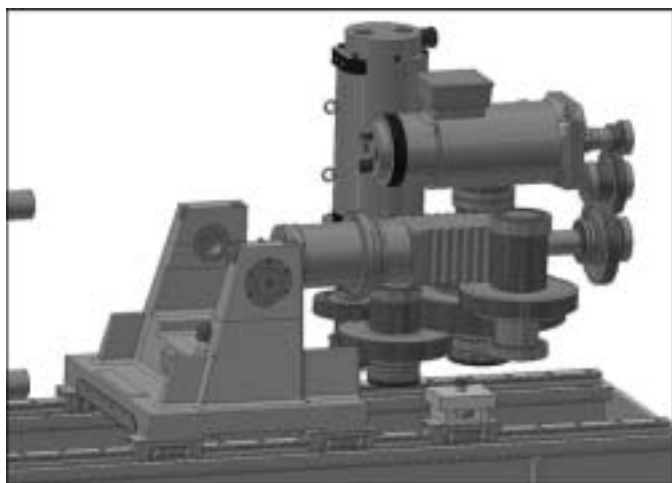
Rys. 10. Wtryskarka „Eltec” firmy Krauss Maffei z układem narzędziowym o budowie dwupłytovej [13]
 Fig. 10. „Eltec” injection molding machine, by Krauss Maffei, with two-plate clamping unit [13]

w grupie maszyn o małej sile zamykania formy (<1000 kN). Z upływem czasu, wartości siły zamykania formy sukcesywnie rosły, zwiększając się niekiedy ponad dziesięciokrotnie (Demag i Krauss Maffei — 1500 kN, E-LION — 1750 kN, Battenfeld — 1800 kN, Negri Bossi — 8500 kN, Cincinnati Milacron — 11 250 kN) [12, 13]. Zdjęcia przykładowych wtryskarek [12, 13] wyposażonych w różne odmiany układów narzędziowych przedstawiono na rys. 7—10.

UKŁAD UPŁASTYCZNIĄCY

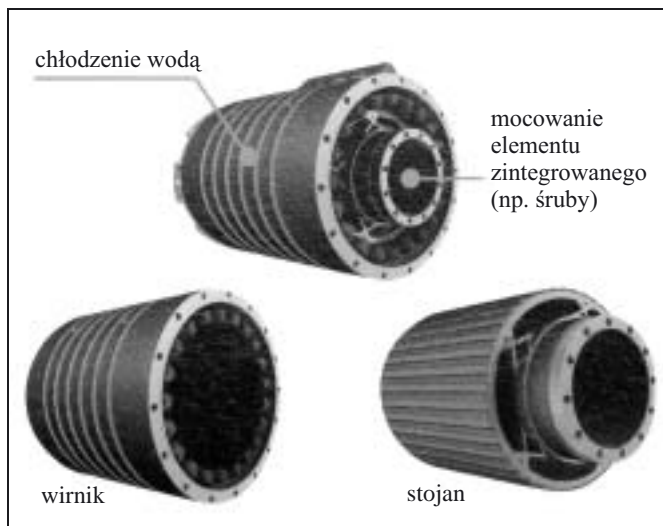
We współczesnych wtryskarkach przeważają jednoślismakowe układy uplastyczniające [4, 14]. Napęd elektryczny musi zatem zapewnić wykonanie wszystkich ruchów niezbędnych do realizacji pełnego procesu wtryskiwania, mianowicie ruchu obrotowego ślimaka w fazie uplastyczniania, ruchu postępowego ślimaka w fazie wtrysku oraz ruchu postępowego całego układu uplastyczniającego w kierunku płyty nieruchomej [15].

W odróżnieniu od wtryskarek z centralnym układem hydraulicznym zapewniającym wspólny napęd poszczególnych siłowników i silników hydraulicznych, we wtryskarkach elektrycznych nie występuje centralny napęd elektryczny rozdzielany za pomocą odpowiednich mechanizmów na poszczególne podzespoły. Wszystkie ruchy zarówno ślimaka wewnątrz cylindra, jak i całego układu uplastyczniającego względem wtryskarki są wykonywane dzięki odrębnym silnikom elektrycznym (rys. 11). Stanowią je najczęściej bezszczotkowe silniki magnetoelektryczne chłodzone wodą (por. rys. 12). Przekazywanie ruchu obrotowego może odbywać się bezpośrednio na napędzany element (który jest zintegrowany ze stojanem) lub poprzez odpowiednio sprzęgane przekładnie zębate. Ruch liniowy jest wywo-



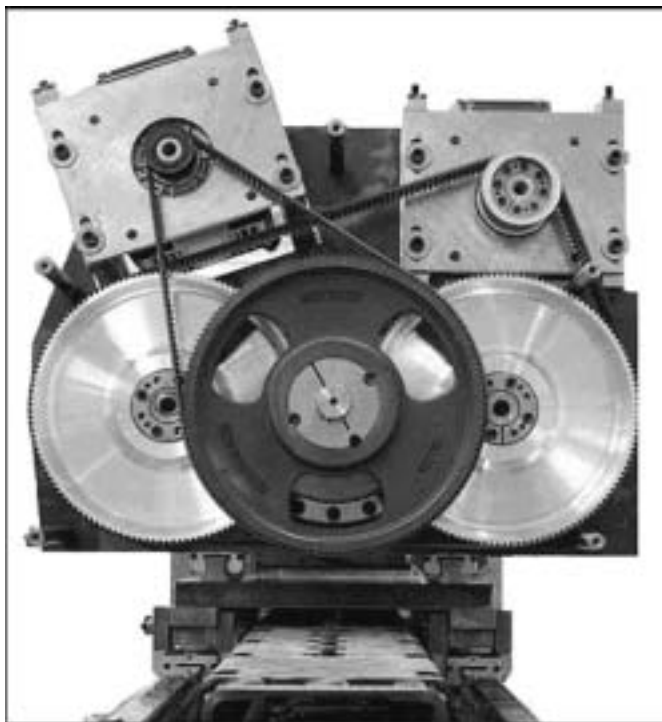
Rys. 11. Zespół silników elektrycznych napędzających układ uplastyczniający [13]

Fig. 11. Set of electric motor actuating the plasticizing unit [13]



Rys. 12. Ogólna budowa silnika typu „High-Torque” [12]

Fig. 12. General structure of „High-Torque” type motor [12]



Rys. 13. Napęd układu uplastyczniającego z wykorzystaniem zespołu przekładni z pasami zębatymi [13]

Fig. 13. Plasticizing unit drive with use of set of gears with cogbelts [13]

ływany przez parę kinematyczną zawierającą śrubę pociągową wraz z nakrętką kulkową. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie do rozdzielania napędu układu uplastyczniającego zespołu sprzęgieł, pasów zębatych i przekładni zębatych [12, 13], co na przykładzie wtryskarki firmy Engel pokazuje rys. 13.

Rozdzielenie napędu poszczególnych podzespołów układu uplastyczniającego pozwala na uruchamianie

odpowiednich silników elektrycznych na krótki okres czasu, jedynie we właściwych fazach procesu wtryskiwania, wykluczając charakterystyczne dla wtryskarek z napędem hydraulicznym straty energii na ruchy jałowe. Dzięki temu uzyskuje się znaczne ograniczenie zużycia energii przez maszynę przetwórczą [9, 13]. Ponadto, oddzielne sterowanie umożliwia włączanie poszczególnych ruchów składowych w układzie uplastyczniającym w dowolnej chwili cyklu wtryskiwania, także równocześnie, co w przypadku wtryskarek hydraulicznych jest niemożliwe lub utrudnione; przyczynia się to do wydatnego skrócenia czasu całego tego cyklu [16].

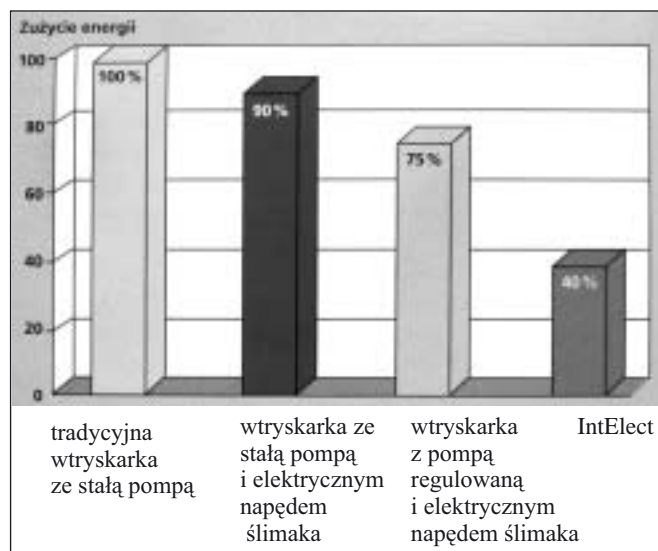
Przykładem elastyczności w synchronizacji wzajemnych ruchów poszczególnych podzespołów wtryskarki, dającym w efekcie skrócenie czasu cyklu przetwórczego, może być model „IntElect” firmy Demag, w którym jest możliwe rozpoczęcie fazy wtrysku jeszcze przed całkowitym zaryglowaniem formy wtryskowej [13].

ZALETY I WADY WTRYSKAREK Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM

Wśród podstawowych zalet omawianych tu wtryskarek należy wymienić przede wszystkim wąski rozkład masy wyprasek, nieporównywalnie węższy niż w przypadku wyprasek pochodzących z wtryskarek hydraulicznych. Inną ważną zaletą stanowi duża dynamika pracy i szybkość ruchów w poszczególnych fazach procesu wtryskiwania — możliwe jest osiągnięcie czasu fazy wtrysku o wartości dziesiątych części sekundy oraz czasu całego cyklu tego procesu trwającego krócej niż 3 sekundy [13].

Indywidualny napęd ruchu obrotowego w fazie uplastyczniania umożliwia zwiększenie wydajności uplastyczniania w stosunku do maszyn z napędem hydraulicznym o ok. 40 % z jednoczesnym zwiększeniem prędkości obrotowej ślimaka do poziomu 30 %. Rośnie także możliwe do osiągnięcia ciśnienie wtryskiwania (o ok. 25 %) [13]. Oddzielny napęd ruchu prostoliniowego ślimaka w fazie wtrysku pozwala na wydatne zwiększenie prędkości wtryskiwania do wartości 300 mm/s, co w porównaniu z wtryskarkami z napędem hydraulicznym daje wzrost nawet o 80 % [13]. Cykliczne czasowe uruchamianie poszczególnych silników elektrycznych umożliwia zmniejszenie zużycia energii średnio o 50—60 % [12] w stosunku do wtryskarek hydraulicznych o porównywalnych parametrach, co przedstawiono na rys. 14.

Kolejną z zalet to bardzo krótki czas opóźnienia ruchu poszczególnych podzespołów wtryskarki z zachowaniem przy tym dużej dokładności przesuwu oraz wysokiej tolerancji ich położenia (na poziomie 0,01 mm) — w szczególności płyty ruchomej — dzięki czemu uzyskuje się znaczne zmniejszenie zużycia formy wtryskowej [10, 13]. Zastosowanie ultradźwiękowych metod pomiaru położenia oraz prędkości płyty ruchomej i jedno-



Rys. 14. Porównanie zużycia energii przez wtryskarki z różnym rodzajem napędu [12]

Fig. 14. Comparison of energy consumption by injection molding machines with different types of drives [12]

czesne monitorowanie wartości siły zamykania formy wtryskowej za pomocą czujników piezoelektrycznych umożliwia aktywną jej ochronę przed przeciążeniami lub uderzeniem [13].

Konstrukcja silnika elektrycznego typu „High-Torque” umożliwia użycie go jako bezpośredniego źródła napędu, z pominięciem niezbędnych dotychczas przekładni pasowych lub zębatych. Bezpośrednie chłodzenie silników wodą eliminuje konieczność stosowania wentylatorów, co oprócz poprawienia bilansu energetycznego wtryskarki powoduje zmniejszenie drgań i poziomu hałasu a także brak zawirowań i turbulencji wnoszących pył materiałowy oraz drobne kropelki oleju, które mogą zanieczyszczać przestrzeń roboczą wtryskarki i wnętrza formy wtryskowej [13, 17]. Ponadto, całkowita likwidacja narażonego na przecieki układu hydraulicznego umożliwia uzyskiwanie wysokiej klasy czystości [13, 18], co ma szczególne znaczenie w przemyśle precyzyjnym, optycznym i fonograficznym (płyty CD i DVD) a także farmaceutycznym, kosmetycznym, spożywczym oraz elektronicznym, jak również w specjalnych metodach wtryskiwania, takich jak mikrowtryskiwanie lub wtryskiwanie elastomerów [14, 19]. Warto też podkreślić, że przeciętny poziom hałasu emitowanego przez wtryskarkę z napędem elektrycznym nie przekracza 65 dB [10].

Inną istotną wadą wtryskarek elektrycznych są większe koszty wykonania, wskutek czego te maszyny przetwórcze są droższe od maszyn hydraulicznych lub hybrydowych, aczkolwiek w ostatnich latach różnica w cenie między maszynami z tych grup maleje. Drugą ważną wadą to ograniczona konstrukcją silników elektrycznych wartość osiąganą siły zamykania formy, wobec czego w grupie wtryskarek o dużej i bardzo dużej

sile zamykania czołową pozycję nadal zajmują wtryskarki z napędem hydraulicznym [6, 20].

PODSUMOWANIE

Charakterystyczna dla wytworów z tworzyw wysokiej jakości wykonania jest sumarycznym efektem zaawansowanych i wciąż rozwijanych technologii procesów przetwórczych oraz rosnących możliwości technicznych maszyn i urządzeń realizujących te procesy. Pożądane przez współczesny rynek niskie koszty wytwarzania są wypadkową działań prowadzących do zminimalizowania zużycia energii przez maszynę przetwórczą, wielkoseryjność lub masowość produkcji w połączeniu z jej jednoczesną elastycznością (stosunkowo krótkie czasy cykli produkcyjnych).

Z punktu widzenia możliwości technicznych współczesnych wtryskarek, spełnienie powyższych wymagań realizuje się dzięki szybkobieżności urządzenia związanej z krótkim czasem cyklu, dużą szybkością wtryskiwania oraz precyzją i dynamiką ruchu układu narzędziowego a także z dużą mocą napędu rozdzielanego na poszczególne zespoły wtryskarki w odpowiednich fazach procesu przetwórczego. Klasyczne wtryskarki hydrauliczne i hydrauliczno-mechaniczne ustępują wtryskarce elektrycznym przede wszystkim pod względem szybkobieżności, energochłonności, skuteczności sterowania i regulacji oraz dokładności wykonania wyprasek.

Dzięki wielu nowoczesnym rozwiązaniom konstrukcyjnym występującym we wtryskarkach elektrycznych uzyskuje się nieporównywalnie lepszą powtarzalność i większą dokładność przebiegu procesu wtryskiwania, precyzyjny oraz bezpieczny dla formy ruch układu narzędziowego z jednoczesnym zachowaniem jego dużej szybkości i dokładności pozycjonowania, krótki cykl wtryskiwania oraz pełną kontrolę procesu na każdym z jego etapów. Zalety te powodują, że wtryskarki elektryczne stanowią w chwili obecnej urządzenia o bardzo cennych walorach użytkowych, a w przypadku niektórych gałęzi przemysłu — wymagających bardzo wysokiego stopnia czystości, dokładności i jakości wytwarzania — są wręcz niezastąpione.

LITERATURA

1. Sikora R., Jachowicz T.: *Przetwórstwo Tworzyw* 1998, nr 1, 16.
2. Johannaber F.: „Kunststoff Maschinen Führer”, Carl Hanser Verlag, München 1992.
3. Jachowicz T., Sikora R.: *Przetwórstwo Tworzyw* 1998, nr 2, 13.
4. Johannaber F.: „Injection Holding Machines. User's Guide”, Carl Hanser Verlag, München 1994 oraz Johannaber F.: „Wtryskarki. Poradnik użytkownika”. Plastech, Warszawa 2000.
5. Jachowicz T.: „Rozwiązania konstrukcyjne zespołów zamykająco-otwierających wtryskarek”. IX Profesorskie Warsztaty Naukowe „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Szczecin 2004.
6. Jachowicz T.: *Polimery* 2005, 50, 110.
7. Kelly A. L., Woodhead M., Coates P. D.: *Polym. Eng. Sci.* 2005, 45, 857.
8. Zawistowski H.: *TS Raport* 2002, nr 27, 9—10, 26.
9. Kwiecień J.: „Vademecum Tworzyw Sztucznych” 2000, t. 1, 8.
10. Kirkland C.: *Plast. Rev.* 2003, 2, 44.
11. Zawistowski H., Frenkler D.: „Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych”. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984.
12. Materiały katalogowe firm: Battenfeld, Billion, Demag Plastic Group, Dr Boy, Engel, Fakuma, Ferromatic Millacron, HPM, Husky, Italtech, Krauss Maffei, Negri Bossi, Net-stal.
13. Materiały pochodzące z witryn internetowych: www.plastech.pl, www.tworzywa.pl, www.dopak.pl, Modern Plastics Worldwide (www.modplas.com), Injection Molding Magazine (www.immnet.com), Plastics Machinery & Auxiliaries (www.pma-magazine.com), Kunststoffe (www.kunststoffe.de).
14. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
15. Gingery V. R.: „Secrets of Building a Plastic Injection Molding Machine”. David J. Gingery Publishing 1997.
16. Knights M.: *Plast. Technol.* 2005, 51, nr 1, 38.
17. Goldsberry C.: *Injection Molding Magazine* 2004, 6 (wersja elektroniczna).
18. Knights M.: *Plast. Technol.* 2002, 48, nr 1, 34.
19. Greener J., Wimberger-Friedl R.: „Precision Injection Molding. Process, Materials and Applications”. Carl Hanser Verlag, München 2006.
20. Zawistowski H.: „Użytkowanie i konserwacja wtryskarek i form”. Plastech, Warszawa 2004.