

CHARAKTERYSTYKA WTRYSKAREK ELEKTRYCZNYCH

Tomasz Jachowicz*, Marcin Iwanicki**

*Katedra Procesów Polimerowych, t.jachowicz@pollub.pl

**Katedra Procesów Polimerowych, iwanicki_marcin@interia.pl
Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-533 Lublin,

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólne informacje o budowie wtryskarek elektrycznych oraz scharakteryzowano główne wady i zalety tej grupy maszyn przetwórczych w porównaniu z wtryskarkami klasycznymi z napędem hydraulicznym lub hydrauliczno-mechanicznym.

Słowa kluczowe: wtryskiwanie, wtryskarki elektryczne, parametry procesu, wady, zalety, innowacyjność konstrukcji

WSTĘP

Wtryskarki elektryczne (ang. all-electric injection molding machines) stanowią najnowszą i najnowocześniejszą odmianę wtryskarek do przetwórstwa tworzyw polimerowych metodą wtryskiwania. W liczącej ponad sto trzydzieści lat historii tych maszyn przetwórczych wtryskarki z bezpośrednim napędem elektrycznym już zajęły znaczące miejsce, a ich pozycja wśród wtryskarek z napędem hydraulicznym bądź hybrydowym sukcesywnie się umacnia. Dzięki wielu zaletom (charakteryzującym napęd elektryczny) mają obecnie w grupie maszyn o małej i średniej sile zamykania formy wtryskowej wiodące miejsce i skutecznie wyparły wtryskarki hydrauliczne [Jachowicz 2007, Strony internetowe].

Intensywny rozwój konstrukcji silników elektrycznych, układów pomiarowych oraz techniki komputerowej wpłynął na wyraźne zwiększenie możliwości układu sterowania i regulacji wtryskarki, co pozwoliło na efektywne wykorzystanie nowoczesnych silników elektrycznych do napędu poszczególnych ruchów tej maszyny. Znaczący wpływ na wykorzystanie napędu elektrycznego we wtryskarkach miały czynniki związane z ochroną środowiska oraz zasobów energetycznych, m.in. takie jak mniejsze zużycie energii przez maszynę, niższy poziom hałasu, mniejsza emisja ciepła do otoczenia oraz nieużywanie oleju hydraulicznego [Jachowicz 2007, Katalogi firm].

BUDOWA

We wtryskarkach elektrycznych, podobnie jak w innych, niezależnie od rodzaju napędu, zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego, rozmiarów i przeznaczenia, wyróżnia się następujące układy funkcjonalne: uplastyczniający, napędowy i narzędziowy. Wszystkie te układy są wyposażone w podzespoły zapewniające prawidłowość ich pracy oraz wtryskarki jako całości, które wyodrębnia się jako czwarty układ, zwany układem sterowania i regulacji [Johannaber 2000, Greener i Wimberger-Friedl 2006].

We wtryskarkach elektrycznych wyróżnia się kilka rodzajów układu narzędziowego oraz wynikającego z nich sposobu napędu zespołu zamykająco-otwierającego [Jachowicz 2005]. Niektóre z nich korzystają z wieloletnich doświadczeń klasycznych rozwiązań z napędem hydraulicznym, stosowanych w układach narzędziowych o konstrukcji trójpłytywowej, natomiast część to rozwiązania nowe, wykorzystujące unikalne możliwości silników elektrycznych nowej generacji. Najczęściej występujące rozwiązania konstrukcyjne układów narzędziowych z napędem elektrycznym to układ trójpłytowy z kolumnami prowadzącymi, dwupłytowy z kolumnami prowadzącymi oraz dwupłytowy bezkolumnowy z ramą pośrednią [Jachowicz 2007].

We współczesnych wtryskarkach przeważają jednoślimakowe układy uplastyczniające [Johannaber 2000, Jachowicz 2007]. Wszystkie ruchy, zarówno ślimaka wewnątrz cylindra, jak i całego układu uplastyczniającego względem wtryskarki są wykonywane za pomocą odrębnych silników elektrycznych. Przekazywanie ruchu obrotowego może odbywać się bezpośrednio na ślimak (który jest zintegrowany ze stojanem silnika) lub poprzez odpowiednio sprzęgane przekładnie zębate. Ruch liniowy ślimaka jest wywołany przez parę kinematyczną zawierającą śrubę pociągową wraz z nakrętką kulkową.

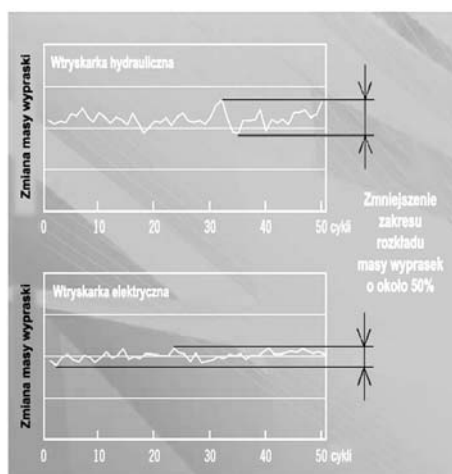
ZALETY

Porównywanie maszyn o podobnych cechach użytkowych (na przykład siła zamykania formy i objętość wtryskiwania) jednoznacznie wskazuje na lepsze właściwości wtryskarek elektrycznych, które są oceniane według wielu kryteriów, wśród których ważniejsze to wskaźniki energetyczne, technologiczne, ekonomiczne i jakościowe, a także ekologiczne oraz ergonomiczne.

Podstawową zaletą wtryskarek elektrycznych rozpatrywaną z punktu widzenia jakości i dokładności otrzymywanych wyprasek wtryskowych jest przede wszystkim bardzo mały zakres rozkładu masy wyprasek, otrzymywanych w kolejnych cyklach przetwórczych. Ocenia się, że różnica masy wyprasek otrzymywanych na wtryskarkach z napędem całkowicie elektrycznym nie przekracza $0,1 \div 0,2\%$ średniej masy wypraski, podczas gdy we wtryskarkach hydraulicznych mogą to być wartości nawet 10-krotnie większe [Strony internetowe].

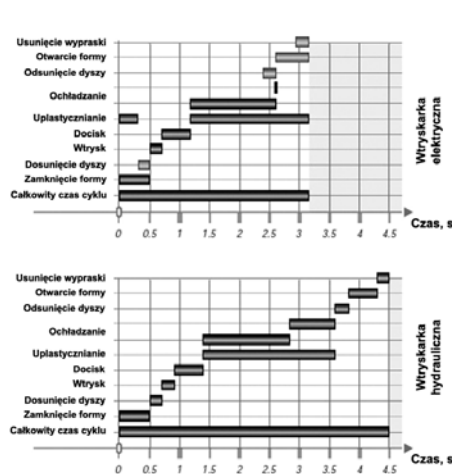
Następną z cech charakterystycznych wtryskarek elektrycznych jest duża dynamiczność pracy i szybkość ruchów elementów wtryskarki w poszczególnych fazach procesu. Bezpośredni napęd z silników typu High Torque oraz rozdzielenie w dźwigniowym mechanizmie zamykająco-otwierającym funkcji wytworzenia siły oraz funkcji pozycjonowania płyty ruchomej pozwoliło na wydadne skrócenie czasu zamykania i otwierania formy, który w tak zwanym cyklu suchym osiąga wartość poniżej 1,5 se-

kundy [Katalogi firm, Strony internetowe]. Kolejną z zalet wynikającą z napędu elektrycznego to bardzo krótki czas opóźnienia ruchu poszczególnych podzespołów wtryskarki przy jednoczesnym zachowaniu dużej dokładności przesuwu oraz wąskiego pola tolerancji ich położenia (na poziomie 0,01 mm), w szczególności płyty ruchomej, dzięki czemu uzyskuje się znaczne zmniejszenie zużycia formy wtryskowej. Zastosowanie ultradźwiękowych metod pomiaru położenia oraz prędkości płyty ruchomej wraz z jednoczesnym monitorowaniem wartości siły zamykania formy za pomocą czujników piezoelektrycznych umożliwia aktywną ochronę formy wtryskowej przed przeciążeniami lub uderzeniem [Zawistowski 2004].



Rys. 1. Porównanie rozkładu masy wyprasek wykonywanych na wtryskarce elektrycznej i hydraulicznej

Fig. 1. Parts weight distribution for the desired weight for all-electric and hydraulic injection molding machines



Rys. 2. Skrócenie czasu cyklu procesu wtryskiwania na wtryskarce z napędem elektrycznym

Fig. 2. Shortening of whole cycle time of injection molding process using all-electric injection molding machine

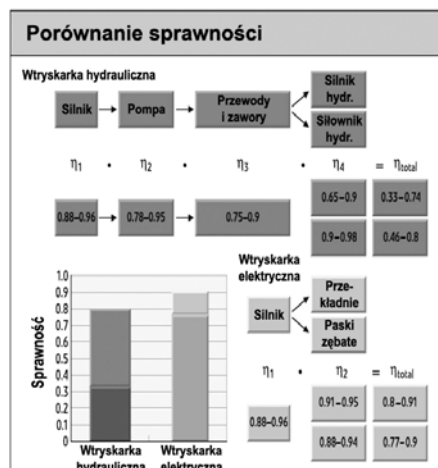
Indywidualny napęd ruchu obrotowego ślimaka w fazie uplastyczniania umożliwia zwiększenie wydajności uplastyczniania w porównaniu z maszynami z napędem hydraulicznym o około 40%. Jednocześnie rośnie prędkość obrotowa ślimaka o około 30% w stosunku do maszyn z napędem hydraulicznym. Zwiększa się także możliwe do osiągnięcia ciśnienie wtryskiwania przeciętnie o około 25% [Katalogi firm]. Oddzielny napęd ruchu prostoliniowego ślimaka w fazie wtrysku pozwala na wydajne zwiększenie prędkości wtryskiwania do wartości 0,3 m/s, co w porównaniu z wtryskarkami z napędem hydraulicznym daje wzrost nawet o 80% [Strony internetowe]. Uzyskanie poszerzenia zakresu warunków przetwórstwa we wtryskarkach elektrycznych, połączone z zaawansowanymi układami sterowania wtryskarką, umożliwia realizację nowych lub dotychczas niedostępnych metod wtryskiwania, w tym mikrowtryskiwania, wtryskiwania elastomerów oraz tworzyw, których wtryskiwanie jest utrudnione, np. poliwęglanów [Sikora 2006]. Ponadto oddzielne sterowanie ruchem obrotowym i prostoliniowym ślimaka oraz ruchem całego układu uplastyczniającego pozwala na włączanie poszczegól-

nych ruchów składowych w układzie uplastyczniającym w wybranym momencie cyklu wtryskiwania, równocześnie przyczyniając się do wydatnego skrócenia czasu całego cyklu procesu [Katalogi firm]. Takie rozwiązanie w przypadku wtryskarek hydraulicznych było niemożliwe lub utrudnione. W efekcie uzyskuje się skrócenie czasu całego cyklu procesu wtryskiwania o około 30% [Katalogi firm, Strony internetowe].

Rozdzielenie napędu poszczególnych podzespołów układu uplastyczniającego pozwala na uruchamianie odpowiednich silników elektrycznych na krótki czas jedynie we właściwych fazach procesu wtryskiwania, wykluczając charakterystyczne dla wtryskarek z napędem hydraulicznym straty energii na ruchy jałowe, dzięki czemu uzyskuje się znaczne obniżenie zużycia energii przez maszynę przetwórczą. Analogiczna sytuacja występuje w układzie narzędziowym, w którym silnik napędzający zespół zamykająco-otwierający oraz silnik zapewniający ruch wyrzutnika są włączane na krótko jedynie we właściwej fazie procesu wtryskiwania. Cykliczne czasowe uruchamianie poszczególnych silników elektrycznych pozwala na zmniejszenie zużycia energii średnio o 25% w porównaniu z nowoczesnymi wtryskarkami hybrydowymi oraz hydraulicznymi wyposażonymi w pompy o zmiennym wydatku, natomiast zmniejszenie energochłonności w odniesieniu do klasycznych wtryskarek hydraulicznych o porównywalnych parametrach sięga aż od 50 do 60% [Katalogi firm, Strony internetowe].



Rys. 3. Różnica w zapotrzebowaniu na energię między wtryskarką elektryczną a hydrauliczną
Fig. 3. Energy requirement's difference between all-electric and hydraulic injection molding machine



Rys. 4. Porównanie sprawności wtryskarki z napędem elektrycznym i hydraulicznym
Fig. 4. Comparison of effectiveness of injection molding machine with all-electric and hydraulic drive

Silniki elektryczne stosowane we wtryskarkach elektrycznych są bezpośrednio chłodzone wodą, dzięki czemu wyeliminowano dotychczasową konieczność stosowania wentylatorów. Rozwiązanie takie, oprócz poprawienia ogólnego bilansu energetycznego wtryskarki, skutkuje zmniejszeniem drgań i poziomu hałasu wytwarzanego przez maszynę, co jest korzystne z punktu widzenia ergonomii stanowiska pracy. Ocenia się, że przeciętny poziom hałasu emitowanego przez wtryskarkę z napędem elektrycznym nie przekracza 65 dB, co odpowiada natężeniu dźwięku wydawanego przez drukarkę laserową [Strony internetowe].

Wyeliminowanie z konstrukcji wtryskarki elektrycznej wentylatorów jest równoznaczne z brakiem turbulencji powietrza, które unosiło pył materiałowy oraz cząsteczki oleju, w efekcie czego we wtryskarkach hydraulicznych często dochodziło do zanieczyszczenia obszaru roboczego i wnętrza formy wtryskowej [Katalogi firm]. Dzięki całkowitej likwidacji narażonego na przecieki układu hydraulicznego, wtryskarki z napędem elektrycznym należą do maszyn przetwórczych o bardzo wysokiej klasie czystości [Katalogi firm, Strony internetowe]. Jednocześnie należy wskazać na ekologiczne aspekty konstrukcji tych maszyn przetwórczych – brak zanieczyszczenia olejem i konieczności utylizacji zużytego medium oraz niska emisja ciepła do atmosfery.

WADY

Podstawową wadą wtryskarek całkowicie elektrycznych jest ograniczona konstrukcją silników elektrycznych wartość uzyskiwanej siły zamykania formy. W związku z tym, w grupie wtryskarek o dużej i bardzo dużej sile zamykania nadal wiodącą rolę odgrywają wtryskarki z napędem hydraulicznym [Jachowicz 2007]. Z uwagi na wymiary zewnętrzne dużych wtryskarek masa poszczególnych zespołów i podzespołów oraz związany z nimi moment bezwładności są na tyle znaczące, że moc osiągnięta z współczesnych silników elektrycznych jest niewystarczająca, aby zapewnić poprawną realizację procesu wtryskiwania. Inną z wad wtryskarek elektrycznych jest nadal większy koszt wykonania. Te maszyny przetwórcze nadal są droższe od maszyn hydraulicznych lub hybrydowych, aczkolwiek z biegiem lat różnica w cenie między maszynami z tych grup sukcesywnie maleje.

PODSUMOWANIE

Wtryskarki elektryczne stały się synonimem innowacji w konstrukcji maszyn do przetwórstwa tworzyw. Wieloletnia dominacja wtryskarek z napędem hydraulicznym i hydrauliczno-mechanicznym została zachwiana w stosunkowo krótkim czasie, a większość liczących się światowych producentów wtryskarek szybko wprowadziła do produkcji maszyny all-electric. Przesłanki do tego typu działań są bardzo czytelne – ilość korzyści osiąganych z zastosowania bezpośredniego napędu elektrycznego wielokrotnie przewyższała ograniczenia i wady.

Wymagania jakościowe i ekonomiczne, z uwagi na własne możliwości technologiczne i przetwórcze, wtryskarki z napędem elektrycznym spełniają w stopniu o wiele większym niż wtryskarki hydrauliczne. Klasyczne wtryskarki hydrauliczne i hydrauliczno-mechaniczne ustępują wtryskarkom elektrycznym przede wszystkim na polu szybkobieżności, energochłonności, skuteczności sterowania i regulacji oraz dokładności wykonania wyprasek. Najważniejsze cechy charakteryzujące współczesne wtryskarki z napędem elektrycznym to szybkobieżność, duża szybkość wtryskiwania oraz precyzja działania i dynamiczność ruchu układu narzędziowego, a także małe zużycie energii i duża sprawność napędu, rozdzielanego na poszczególne zespoły w odpowiednich fazach procesu przetwórczego. Dzięki wielu nowoczesnym rozwiązaniom konstrukcyjnym we wtryskarkach elektrycznych uzyskuje się nieporównywalnie wyższą powtarzalność i dokładność przebiegu procesu wtryskiwania, precyzyjny i bezpieczny dla formy ruch układu narzędziowego.

dziowego, przy jednoczesnym zachowaniu jego dużej szybkości i dokładności pozycjonowania, krótki cykl wtryskiwania oraz pełną kontrolę procesu na każdym z jego etapów.

Zalety wtryskarek elektrycznych powodują, że są to obecnie maszyny o bardzo wysokich walorach użytkowych, wskutek czego szybko zajęły znaczącą pozycję wśród innych odmian wtryskarek, a niekiedy stały się wręcz niezastąpione w przypadku niektórych gałęzi przemysłu, wymagających bardzo wysokiej czystości, dokładności i jakości przetwórstwa. Jako przykłady można przytoczyć branżę optycznych nośników danych oraz przemysł optyczny, gdzie oprócz zapewnienia właściwych warunków wtryskiwania dokładnościowego należy wyeliminować naprężenia w tworzywie, które mogą spowodować zmianę właściwości optycznych wypraski. Duża dokładność pozycjonowania ślimaka, charakterystyczna dla wtryskarek elektrycznych jest nieodzowna w procesie mikrowtryskiwania. Czystości obszaru roboczego wtryskarki elektrycznej to warunek niezbędny do otrzymywania wyprasek w przemyśle farmaceutycznym, medycznym i spożywczym, gdzie zakres otrzymywanych wytworów jest bardzo szeroki, począwszy od bardzo dokładnych i wykonanych ze specjalnych tworzyw wyprasek wchodzących w skład aparatury medycznej, na sterylnych i pozbawionych zanieczyszczeń opakowaniach skończywszy. Zastosowanie wtryskarek z napędem całkowicie elektrycznym staje się wyjątkowo korzystnym rozwiązaniem, znajdującym oprócz uzasadnienia jakościowego i ekonomicznego także ekologiczne i innowacyjne.

PIŚMIENNICTWO

- Greener J., Wimberger-Friedl R. 2006. Precision Injection Molding. Process, Materials and Applications. Carl Hanser Verlag, München.
- Jachowicz T. 2005. Rozwiązania konstrukcyjne zespołów zamykająco-otwierających wtryskarek. *Polimery* 50, 2, 110–117.
- Jachowicz T. 2007. Wtryskarki elektryczne, *Polimery* 52, 2, 99–105.
- Johannaber F. 2000. Wtryskarki. Poradnik użytkownika. Plastech, Warszawa.
- Katalogi firm: Arburg, Battenfeld, Billion, Demag Plastic Group, Dr Boy, Engel, Fakuma, Ferromatic Millacron, HPM, Husky, Italtech, Japan Steel Works, Krauss Maffei, Mitsubishi, Negri Bossi, Netstal, Sumitomo.
- Strony internetowe: Plastech (www.plastech.pl), www.tworzywa.pl, www.dopak.pl, www.eplastics.pl, www.tworzywa.com.pl, Modern Plastics Worldwide (www.mod-plas.com), Injection Molding Magazine (www.immnet.com), Plastics Machinery & Auxiliaries (www.pma-magazine.com), Kunststoffe (www.kunststoffe.de), ThomasNet (news.thomasnet.com).
- Sikora R. 2006. Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin.
- Zawistowski H. 2004. Użytkowanie i konserwacja wtryskarek i form. Plastech, Warszawa.

ALL-ELECTRIC INJECTION MOLDING MACHINES ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Summary. This article presents general information about the construction of all-electric injection molding machines. Main advantages and disadvantages of all-electric molding machines have been characterized and compared with the classical injection molding machines with hydraulic and electro-hydraulic drive.

Key words: injection molding, all-electric molding machines, parameters of processing, advantages, disadvantages, innovation of construction