

Technologia wtryskiwania tworzyw polimerowych

Wtryskiwanie jest jednym z podstawowych procesów stosowanym w przetwórstwie tworzyw polimerowych. Z racji swojej specyfiki, może być przyczyną różnego typu zagrożeń powodowanych głównie przez występujące w procesie pracy niebezpieczne czynniki mechaniczne, takie jak ciężkie przedmioty, wysoka temperatura, duże ciśnienia mediów roboczych oraz ruchome elementy maszyn, jak również inne czynniki niebezpieczne lub szkodliwe, takie jak energia elektryczna, hałas czy szkodliwe substancje chemiczne.

■ Jacek Iwko ■ Laboratorium Tworzyw Sztucznych ■ Politechnika Wrocławska

Popularność tworzyw

Tworzywa polimerowe stosowane są obecnie niemal w każdej dziedzinie życia codziennego, głównie dzięki takim ich zaletom, jak mała gęstość, duża odporność na działanie czynników chemicznych, łatwość przetworstwa i barwienia, mała kancerogenność oraz estetyczny wygląd. Wymienione korzyści powodują, że materiały te są coraz szerzej stosowane, głównie w takich gałęziach przemysłu, jak budowa maszyn i urządzeń, budownictwo, transport, elektronika i elektrotechnika, medycyna, meblarstwo, gospodarstwo domowe itp.

Warto zwrócić uwagę, iż dynamika produkcji tworzyw sztucznych

wyказuje cały czas silną tendencję wzrostową. Ponad 20 lat temu wielkość produkcji (liczona w jednostkach objętościowych) przekroczyła produkcję stali i tendencja ta wydaje się pogłębiać.

Wzrost produkcji materiałów polimerowych pociąga za sobą intensywny rozwój procesów przetwórczych tych materiałów, prowadzących do otrzymywania konkretnych wyrobów lub półwyrobów. Procesy te obejmują głównie wytłaczanie i wtryskiwanie tworzyw sztucznych (razem – ponad 80% przetwórstwa całkowitej ilości wytworzonych materiałów polimerowych), ponadto stosowane są

procesy laminowania, odlewania, prasowania, kalandrowania i inne.

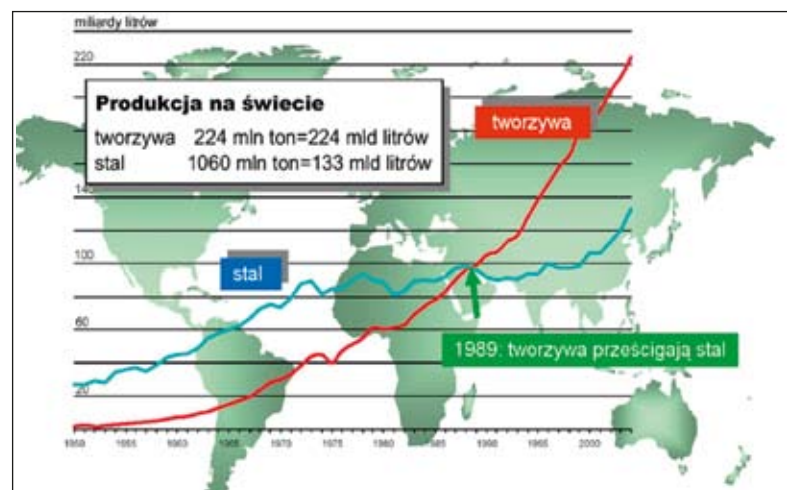
Wtryskiwanie a wytłaczanie

Wytłaczanie tworzyw sztucznych polega na ciągłym formowaniu uplastycznionego materiału polimerowego w odpowiednio ukształtowanej głowicy wytaczarskiej, w wyniku którego otrzymuje się różnego typu profile: rury, płyty, folie, profile okienne i inne. Profile te są na dalszym etapie produkcji cięte na elementy o odpowiedniej długości.

W przeciwieństwie do wytłaczania, wtryskiwanie tworzyw sztucznych jest cyklicznym proce-

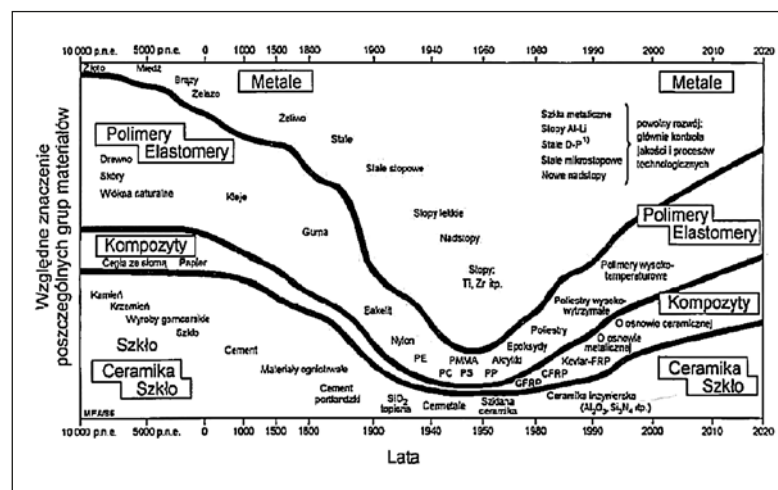
sem wytwarzania wyrobów z materiałów polimerowych, polegającym na stopieniu tworzywa (podawanego do maszyny najczęściej w formie granulatu, wiórek lub płatków, rzadziej proszku), a następnie wtrysnięciu tak uplastycznionego materiału do zimnej formy wtryskowej, gdzie tworzywo została się, przyjmując kształt gniazd formujących.

Z racji specyfiki obu procesów widać wyraźnie, iż zakładów produkujących profile z tworzyw sztucznych, a więc wykorzystujących technikę wytłaczania, będzie znacznie mniej od firm wytwarzających wyroby z materiałów polimerowych metodą wtrysku. Mniejszy



■ Rys. 1. Dynamika wzrostu produkcji tworzyw sztucznych i stali (dane z roku 2004)

Źródło: Materiały Laboratorium Tworzyw Sztucznych PWR



■ Rys. 2. Względne znaczenie różnych grup materiałów konstrukcyjnych na przestrzeni cywilizacji ludzkiej

Źródło: Materiały <http://mathewpeet.org>

jest bowiem zdecydowanie asortyment profili polimerowych od wyrobów wtryskowych. Wtryskiwanie jest bowiem podstawowym procesem wytwarzania z tworzyw sztucznych gotowych wyrobów o masie od 0,01g do 70 kg. Wykorzystując tę technikę przetwórstwa, wytwarza się tysiące różnego typu wyrobów, począwszy od bardzo małych elementów konstrukcyjnych, niedużych przedmiotów codziennego użytku, opakowań po wielkie, skomplikowane elementy typu części nadwozi samochodowych, skrzynie i inne. To wszystko sprawia, że tylko w Polsce istnieje setki firm przetwórczych zajmujących się produkcją tego typu wyrobów z materiałów polimerowych. Wtryskarki stosowane jako maszyny produkcyjne są urządzeniami niezwykle złożonymi i precyzyjnymi, co jest przyczyną ich wysokich cen. Koszt typowej wtryskarki to ok. 50 000 zł za maszynę używaną, natomiast nowa kosztuje w granicach 200 000 – 1 000 000 zł w zależności od wielkości płyt, siły zamykania, rodzaju napędu itd. Istotny jest również koszt narzędzia – formy wtryskowej montowanej na wtryskarce. Najtańsze formy to wydatek rzędu ok. 20 000 – 30 000 zł, natomiast dla dużych, skomplikowanych wyrobów i niestandardowych technik wtryskowych ich koszt może nawet przekroczyć 300 000 zł. Są również znane formy, których wytworzenie kosztowało ponad 1 000 000 zł, np. forma do wytwarzania jednorazowych maszynek do golenia firmy Gillette (koszt determinowany przede wszystkim przez takie czynniki, jak wtrysk dwukomponentowy, zamocowanie nożyków w formie i inne). Jest sprawą oczywistą, że aby proces produkcyjny był opłacalny, produkcja wyrobów musi być wielkonakładowa w celu szybkiej amortyzacji kosztów narzędzia oraz maszyny. Przedsiębiorstwa, szczególnie mikroprzedsiębiorstwa lub firmy produkujące wyroby wtryskowe w niewielkich ilościach w celu mini-

malizacji kosztów wykorzystują niekiedy maszyny własnej produkcji lub kupują maszyny zamortyzowane. Skutkuje to często nie tylko mniejszą funkcjonalnością takiej wtryskarki, ale również mniejszymi kosztami poniesionymi na zapewnienie bezpieczeństwa operatorowi takiej maszyny, co w konsekwencji może prowadzić do różnego typu zdarzeń wypadkowych. Oczywiście zdarzenia wypadkowe występują również w dużych zakładach wytwórczych, wykorzystujących maszyny nowe. Są one wówczas związane przede wszystkim z nieprawidłowym zachowaniem się pracownika, jego nieuwagą, zaniedbaniem lub błędami konstrukcyjnymi maszyny.

Technologia wtrysku tworzyw

Wtryskiwanie to proces cykliczny, w którym materiał wyjściowy w postaci granulatu, wiór lub proszku, podany z leja zasypowego do ogrzewanego cylindra, uplastycznia się i następnie jest wtryskiwany przez dyszę i tuleję wtryskową do gniazd formujących formy wtryskowej. Tworzywo w gniazdach ulega zestaleniu, a następnie jest usuwane z formy w postaci gotowej wypraski (elementu końcowego), po czym cykl procesu rozpoczyna się od nowa. Proces wtryskiwania znajduje zastosowanie do produkcji elementów o złożonej geometrii oraz dużej wymaganej precyzji kształtowo-wymiarowej, jak również wyrobów o prostych kształtach i małych gabarytach, których nie można otrzymać wykorzystując inne techniki przetwórcze. Związany jest on głównie z przetwórstwem tworzyw termoplastycznych, choć znajduje także zastosowanie w przetwórstwie duroplastów.

Wady i zalety

Do podstawowych zalet procesu wtryskiwania należą:

- wytwarzanie nawet najbardziej skomplikowanych wyrobów w jednym, trwającym od kilku do kilkudziesięciu sekund procesie

technologicznym,

- mały, bądź żaden udział obróbek wykańczających,
- wysoka jakość i powtarzalność własności i wymiarów,
- możliwość pełnego zautomatyzowania, komputerowego sterowania i kontroli procesu,
- w porównaniu z obróbką metali, znaczne zmniejszenie liczby operacji technologicznych, mniejsze zużycie energii bezpośredniej i wody, niewielka pracochłonność, niska emisja związków szkodliwych dla otoczenia.

Proces ten nie jest oczywiście pozbawiony wad, do najważniejszych z nich zaliczyć można:

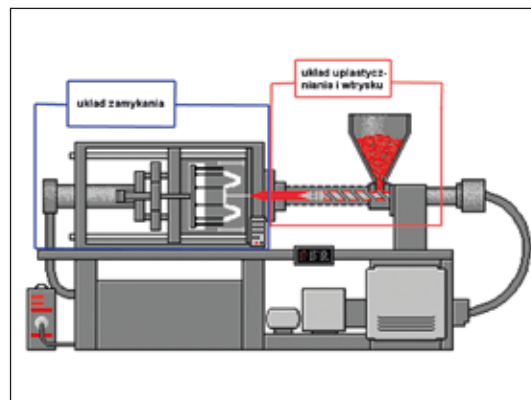
- wysoki koszt maszyn (wtryskarek) i niejednokrotnie dorównujący mu koszt oprzyrządowania (form), powodujący wydłużenia czasu amortyzacji i wysokie koszty uruchamiania produkcji,
- ze względu na powyższe, technologia wtrysku jest opłacalna praktycznie tylko przy produkcji wielkoseryjnej i masowej,
- konieczność wysokich kwalifikacji pracowników nadzoru technicznego, którzy muszą znać specyfikę przetwórstwa tworzyw sztucznych,
- konieczność zachowania wąskich tolerancji parametrów przetwórstwa,
- długi czas przygotowania produkcji ze względu na pracochłonność wykonania form wtryskowych.

Ze względu na specyficzne właściwości tworzyw sztucznych, wtryskiwanie jest złożonym procesem techno-

logicznym. W odróżnieniu od pozornie pokrewnego procesu odlewania ciśnieniowego metali nie jest procesem mechanicznym, lecz mechaniczno - fizycznym. W procesie wtryskiwania uzyskuje się wypraskę charakteryzującą się nie tylko określonym kształtem, lecz także specyficzną strukturą, wynikającą ze sposobu płynięcia uplastycznionego tworzywa w formie oraz przebiegu jego zestalania. Ponieważ procesy te zachodzą w formie wtryskowej, konstruktor tego narzędzia musi uwzględniać, prócz zagadnień typowo mechanicznych, również zagadnienia związane z fizycznym charakterem przemian tworzywa (skurcz, anizotropia). Skonstruowanie racjonalnie pracującej formy wymaga równocześnie od konstruktora gruntownej znajomości możliwości technicznych wtryskarki, ponieważ jest to maszyna o wyjątkowo bogatych możliwościach, zapewnionych przez jej wyposażenie i liczne programy pracy.

Wtryskarki

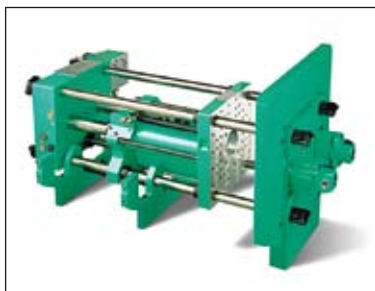
Współczesne wtryskarki są skomplikowanymi, wielofunkcyjnymi maszynami do przetwórstwa tworzyw sztucznych. Ogólna budowa wszystkich ich typów (rys. 3) jest podobna, ponieważ składają się one z pełniących tę samą rolę zespołów funkcyjnych. W zależności od rodzaju przetwarzanego tworzywa, sposobu pracy, rodzaju formy itp., są dostosowywane do wymogów poszczególnych wariantów technologii w sposób konstrukcyjny bądź przez zastosowanie specjalnego wyposażenia technicznego. Możliwości wytwórcze wtry-



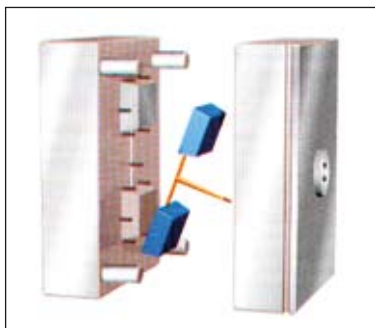
■ Rys. 3. Schemat typowej wtryskarki ślimakowej z zaznaczonymi najważniejszymi zespołami funkcyjnymi: układem uplastyczniającym - wtryskowym oraz układem zamykania
Źródło: Materiały www.alexpb.com



Rys. 4. Przykładowy wygląd zespołu uplastyczniająco-wtryskowego
Źródło: Materiały firmy Arburg



Rys. 5. Przykładowy wygląd zespołu zamykania o napędzie hydraulicznym; widoczny srebrzysty stół ruchomy
Źródło: Materiały firmy Arburg



Rys. 6. Przykładowy wygląd formy wtryskowej wraz z wypadającą wypraską
Źródło: Opracowano na podst. Beaumont J. Runner and Gating Desing Handbook, Hanser, Monachium 2004

skarki charakteryzują przede wszystkim takie parametry, jak siła zamykania, objętość wtrysku i wymiary przestrzeni, w której mocowana jest forma wtryskowa.

Podstawowe zespoły funkcyjne wtryskarki (rys. 3) to zespół uplastyczniająco-wtryskowy oraz zespół zamykania.

Zespół uplastyczniająco-wtryskowy

We wtryskarkach stosowane są dwa podstawowe typy zespołu uplastyczniająco-wtryskowego: tłokowy i ślimakowy. Jednak zespół tłokowy, ze względu na liczne jego wady, został już niemal całkowicie wyparty przez układ ślimakowy. Obecnie dla pojemności wtryskiwania powyżej 20 cm³ stosowane są już wyłącznie zespoły ślimakowe, w których to obracający się ślimak znajdujący się w ogrzewanym cylindrze uplastycznia i homogenizuje materiał polimerowy. Uplastycznione tworzywo znajdujące się na czole ślimaka ma temperaturę zbliżoną do temperatury ogrzewanej części cylindra, która zazwyczaj przyjmuje wartości od ok. 150°C do 400°C, w zależności od rodzaju materiału. Wtrysnięcie tworzywa do formy odbywa się pod wpływem przesuwu ślimaka powodowanego przez siłownik hydrauliczny. Przebieg uplastyczniania tworzywa jest podobny do występującego przy wytłaczaniu, z tą różnicą, że ślimak obracając się gromadzi tworzywo przed swoim czołem, a równocześnie pod wpływem ciśnienia tego tworzywa przesuwają się do tyłu. Osiągnięcie określonego miejsca

drogi wycofania oznacza, że została uplastyczniona odpowiednia porcja tworzywa i następuje wyłączenie obrotów ślimaka. W zależności od potrzeb stosuje się ślimaki uplastyczniające o różnej geometrii wykonane z różnych materiałów.

Zespół zamykania

Drugim zespołem funkcyjnym wtryskarki jest zespół zamykania (rys. 5). W jego skład wchodzi przede wszystkim forma wtryskowa oraz elementy pomocnicze. Forma wtryskowa, ważąca od kilkudziesięciu do kilkuset kg, składa się przeważnie z dwóch podzespołów (plyt): podzespołu mocowanego do ruchomego stołu wtryskarki, zwanego podzespołem ruchomym oraz podzespołu mocowanego do nieruchomego stołu wtryskarki, zwanego podzespołem nieruchomym. W procesie wtryskiwania, stół ruchomy z zamontowaną połówką formy jest dociskany do stołu nieruchomego, na którym zamontowana jest druga połówka formy wtryskowej. Stosuje się najczęściej hydrauliczne układy zamykania, choć obecnie coraz bardziej popularne stają się wtryskarki z układem zamykania elektrycznym. Forma wtryskowa, w której następuje zestalenie tworzywa po procesie wtryskiwania, jest najczęściej termostatowana wodą lub olejem do temperatury 40 - 140°C, w zależności od rodzaju materiału.

Proces zamykania obu połówek formy następuje z bardzo dużą siłą, rzędu kilkudziesięciu do nawet kilku tysięcy ton, w zależności od gabarytów wytwarzanego elementu, rodzaju tworzywa itd. Zastosowanie tak dużej siły, o której będzie jeszcze mowa z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy, jest spowodowane koniecznością uniknięcia rozszczelnienia obu połówek formy podczas wtrysku do niej stopionego tworzywa pod dużym ciśnieniem, rzędu kilkudziesięciu do nawet 300 MPa.

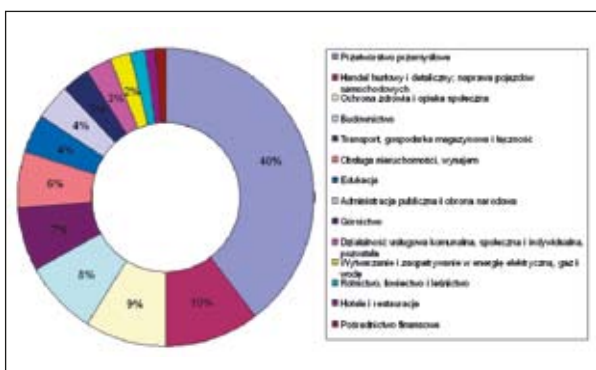
Formy wtryskowe dzielą się na:
 ■ **wielogniazdowe** – jednokrotne, stosowane do dużych detali,

■ **wielogniazdowe** – wielokrotne, wykorzystywane do otrzymywania niewielkich wyrobów o prostej budowie.

Podzespoły formy tworzą następujące części: gniazdo lub gniazda formujące, układ przepływowy (wlewowy), układ chłodzenia lub grzania, układ wypychania wypraski (lub wyprasek) oraz wlewka, obudowa i elementy ustalające oraz prowadzące, jak również układy uzupełniające.

Podsumowanie

Wypadkiem w miejscu pracy nazywa się najogólniej każde zdarzenie, które wywołało szkodę. Definicja ZUS-owska wypadku przy pracy mówi, iż jest to nagłe zdarzenie spowodowane przyczyną zewnętrzną, które spowodowało uraz lub śmierć pracownika i miało związek z pracą. Jeśli przeanalizować strukturę wypadków przy pracy w Polsce w 2008 r. wg sekcji gospodarki narodowej (rys. 7), widać wyraźnie, iż prawie połowa wszystkich wypadków przy pracy ma miejsce w przetwórstwie przemysłowym. Procesy produkcyjne bowiem, szczególnie z racji występujących w miejscach pracy czynników niebezpiecznych i szkodliwych, takich jak czynniki mechaniczne, energia elektryczna, hałas, wibracje, zapylenie, czynniki chemiczne czy biologiczne będą miejscem, gdzie ilość zdarzeń wypadkowych w procesie pracy jest największa. Z tego względu, ze względów wymienionych powyżej oraz z innych powodów, o których będzie mowa w kolejnych częściach artykułu, szczegółowo przeprowadzona analiza bezpieczeństwa pracy na stanowisku operatora wtryskarki wydaje się być bardzo istotna. W swoim zamierzeniu powinna ona przede wszystkim wskazać pewne kierunki czy obszary działalności związanej z produkcją wtryskową, na które należy zwrócić szczególną uwagę w aspekcie zmniejszenia ilości zdarzeń wypadkowych oraz poprawy bezpieczeństwa pracy.



Rys. 7. Struktura wypadków przy pracy w Polsce w 2008 r. według sekcji gospodarki narodowej
Źródło: Materiały GUS