



Z punktu uzyskania wyrobu o zadanym kształcie i wymiarach wytłaczanie jest metodą przetwórstwa tworzyw sztucznych bardziej wrażliwą na błędy niż np. wtrysk. Wynika to z faktu, że kształtowanie i chłodzenia zachodzi pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego. Dużą rolę odgrywają zjawiska, takie jak pęcznienie strugi uplastycznionego tworzywa, skurcz wytłaczarski, jak również inne błędy wytłoczyny, spowodowane głównie niewłaściwą konstrukcją głowic wytłaczarskich oraz samych wyrobów.

WYBRANE PROBLEMY PROCESU WYTŁACZANIA TWORZYW POLIMEROWYCH ■ CZ. 2

Formowanie profili wytłaczarskich

Linia technologiczna

Wytłaczanie jest metodą przetwórstwa tworzyw polimerowych polegającą na ciągłym uplastycznieniu materiału w układzie uplastyczniającym wytłaczarki, a następnie przepchnięciu go przez kanały głowicy wytłaczarskiej. Proces realizowany jest w linii technologicznej, w skład której wchodzi: wytłaczarka, głowica, urządzenia kalibrujące, chłodzące, odbierające i odcinające.

Wytłaczarka

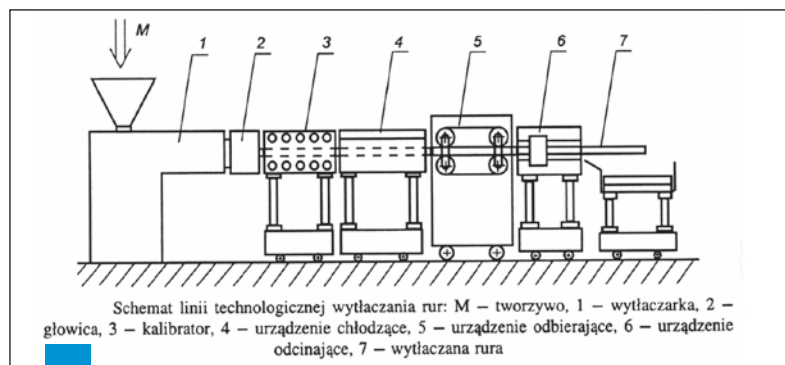
Podstawowym urządzeniem linii technologicznej jest wytłaczarka, której zadaniem jest dostarczenie do głowicy uplastycznionego tworzywa o odpowiednim natężeniu przepływu, temperaturze, ciśnieniu oraz stopniu homogenizacji materiałowej i termicznej. Zadaniem głowicy wytłaczarskiej jest nadanie przetwarzanemu materiałowi odpowiedniego kształtu przy zapewnieniu odpowiedniej jego jednorodności, jak również wy-

tworzenie odpowiedniego spadku ciśnienia umożliwiającego realizację całego procesu. Realizowane jest ono poprzez stopniową zmianę przekroju poprzecznego kanału przepływowego głowicy lub poprzez zastosowanie kanałów rozprowadzających. Końcowe ukształtowanie materiału ma miejsce w dyszy wytłaczarskiej. Na skutek zjawiska rozszerzania się strumienia tworzywa wypływającego z dyszy przekrój poprzeczny wytłoczyny nie jest taki sam jak przekrój poprzeczny wylotu dyszy, dlatego też wprowadza się najczęściej poprawki kształtu dyszy, zwykle w sposób doświadczalny, choć istnieją już metody komputerowe wspomagające ten proces.

Urządzenia kalibrujące i chłodzące

Ich zadaniem polega na nadaniu i utrwaleniu ostatecznego, żąda-

nego kształtu wyrobu. Kalibrowanie polega na przeprowadzeniu wytłoczonego profilu przez długą, chłodzoną tuleję przy odpowiednim docisku. W procesie tym, na skutek różnicy temperatur pomiędzy chłodną tuleją a uplastycznionym tworzywem materiał został ustalony, utrwalając swój kształt i wymiary, które są określone przez kształt i wymiary tulei. Aby proces przebiegał efektywnie materiał musi zostać dociśnięty do tulei, co przeprowadza się na dwa sposoby. Pierwszy z nich to tzw. kalibrowanie ciśnieniowe, polegające na wprowadzeniu do wnętrza profilu powietrza pod pewnym nadciśnieniem, przy czym metoda ta ma zastosowanie wyłącznie do profili zamkniętych (pustych). Drugi sposób to tzw. kalibrowanie próżniowe, w którym docisk profilu do tulei przeprowadzany jest poprzez wytworzenie podciśnienia na jej po-



Rys. 1. Schemat linii technologicznej procesu wytłaczania rur

wierzchni. W czasie procesu kalibrowania materiał jest chłodzony, ale zazwyczaj stosuje się również dodatkowe chłodzenie profilu po opuszczeniu kalibratora w urządzeniach chłodzących, które stanowią zwykle długie wanny z doprowadzeniem i odprowadzeniem wody chłodzącej. Profil przesuwany w wannie po zamontowanych w niej rolkach będąc zanurzony w wodzie lub jest spryskiwany wodą za pomocą zraszaczy.

Urządzenia odbierające

Służą do odbierania wytłoczonego profilu z głowicy, który przeciągany jest kolejno przez kalibrator i urządzenie chłodzące oraz podawania go do następnych urządzeń linii technologicznej, a więc urządzenia obcinającego i składającego. Materiał jest przesuwany wykorzystując siły tarcia pomiędzy nim a elementami napędowymi urządzenia. W zależności od kształtu tych elementów, urządzenia odbierające podzielić można na rolkowe, taśmowe i gąsienicowe. Ważnym parametrem urządzenia odbierającego jest prędkość odbioru, którą można regulować, dostosowując ją do prędkości kalibrowania.

Analizując powyższy opis linii technologicznej wytłaczania widać, iż proces wytłaczania jest, w porównaniu do np. procesu wtryskiwania, znacznie bardziej wrażliwy na błędy w aspekcie uzyskania wyrobu o ściśle zadanych kształtach i wymiarach, ponieważ jego kształtowanie oraz chłodzenie zachodzi pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego. W większym stopniu będą tu, zatem odgrywały rolę zjawiska, takie jak pęcznienie strugi czy skurcz wytłaczarski. Ponadto kluczowym czynnikiem wydaje się być odpowiednia konstrukcja narzędzi przetwórczych.

Rozszerzanie strugi

Zjawisko rozszerzania strugi tworzywa wypływającego z głowicy wytłaczarskiej, znane pod nazwą efektu Barusa, ma duże znaczenie w procesach przetwórstwa tworzyw sztucznych. Jego wielkość, zwana popularnie stopniem spęcznienia strugi, definiowana jest stosunkiem odpowiedniego wymiaru strugi tworzywa do odpowiadającego mu wymiaru kanału i tak dla kanału cylindrycznego jest określana jako stosunek średnicy strugi tworzywa do średnicy kanału formującego, a dla kanału płaskiego opisana jest stosunkiem wysokości strugi do wysokości kanału. Niekiedy też określa się ją jako stosunek pola przekroju poprzecznego strugi do pola przekroju poprzecznego kanału. Stopień ten dla tworzyw polimerowych jest duży, zazwyczaj przyjmuje wartości w granicach 1,2–2,5, choć może być również znacznie większy i przekraczać nawet wartość 4.

Stopień rozszerzenia strugi zależy od wielu czynników. Najważniejsze z nich to:

- rodzaj tworzywa,
- warunki (kinematyczne i termiczne) przepływu w kanale formującym,
- geometria kanału formującego.

Stopień rozszerzania strugi zależy przede wszystkim od właściwości lepkosprężystych materiału, a więc od rodzaju tworzywa, jak również polidispersyjności polimeru, czyli rozrzutu ciężaru cząsteczkowego. Obserwuje się, iż wraz ze zwiększeniem rozrzutu ma miejsce zwiększenie stopnia spęcznienia.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wielkość stopnia spęcznienia jest natężenie przepływu tworzywa w głowicy, a ściślej mówiąc tzw. liczba Reynoldsa, która jak wiadomo określa rodzaj

przepływu (laminarny / burzliwy). Wzrost liczby Reynoldsa (Re) daje w rezultacie zmniejszenie się stopnia rozszerzania strugi i odwrotnie. Ponieważ tworzywa przetwarzane są w warunkach, gdy $Re \ll 1$, zatem stopień spęcznienia tworzyw polimerowych jest duży. Zależy on również od warunków termicznych przepływu – generalnie zwiększa się, gdy temperatura tworzywa jest większa od temperatury ścianki kanału i odwrotnie. Warto dodać, iż występowanie poślizgu na ściance kanału zmniejsza stopień spęcznienia strugi.

Na stopień spęcznienia ma również wpływ geometria kanału przepływowego – w przypadku krótkich kanałów formujących (dysz), o małym stosunku długości kanału do wysokości (średnicy), stopień spęcznienia jest większy, a dla dysz o większym współczynniku L/D, wielkość rozszerzania strugi jest mniejsza.

W celu skorygowania odchyłek kształtu i wymiarów wyrobu spowodowanych występowaniem efektu Barusa należy dokonać korekty kształtu dyszy wytłaczarskiej. Korekcji tej dokonuje się zazwyczaj w sposób doświadczalny, choć w literaturze naukowej, również polskiej można znaleźć już artykuły, które wskazują drogi komputerowo wspomaganych metod wyznaczania kształtu dysz wytłaczarskich. Bazują one na rozwiązaniach tzw. problemów odwrotnych, które polegają w tym przypadku na poszukiwaniu geometrii kanału formującego w odniesieniu do zadanej geometrii strugi polimeru. Do tego celu wykorzystywane są tzw. systemy ogólnie zorientowane (o przeznaczeniu ogólnym), które, jak stwierdzono w badaniach, stanowiąc mogą użyteczne narzędzie projektowania np. głowic wytłaczarskich.

Skurcz wytłaczarski

Pod pojęciem skurczu rozumie się najogólniej zmniejszenie objętości lub wymiarów wyrobu w stosunku do objętości formy lub wymiarów odpowiednich elementów maszyny kształtujących wyrób, zachodzące podczas końcowych etapów procesu przetwórstwa, jak również w odpowiednim czasie po jego zakończeniu. Ze względu na istotę zjawiska, rozróżnia się skurcz cieplny, chemiczny, fizykochemiczny oraz przetwórczy. Z kolei ze względu na czas powstawania, skurcz dzieli się na pierwotny (zmniejszenie wymiarów wyrobu podczas jego zestalania i ochładzania, jak również krótko po opuszczeniu narzędzia kształtującego lub linii technologicznej) oraz wtórny, spowodowany głównie występowaniem naprężeń wewnętrznych w wyrobie, jak również stanem morfologicznym polimeru (tworzywa amorficzne praktycznie nie wykazują skurczu wtórnego) oraz stopniem orientacji cząstek. Z konstrukcyjnego punktu widzenia, skurcz podzielić można na liniowy, powierzchniowy i objętościowy. Ponadto, warto jeszcze wspomnieć o tzw. anizotropii skurczowej, czyli różnicy w wartościach skurczu mierzonego w różnych kierunkach, spowodowanej orientacją cząstek polimeru w wyrobie.

Na skurcz przetwórczy wpływa wiele czynników, z których najważniejsze to:

- rodzaj tworzywa,
- warunki przetwórstwa,
- konstrukcja wyrobu,
- konstrukcja narzędzia.

Wpływ czynników, takich jak rodzaj tworzywa czy warunki przetwórstwa na rodzaj i wielkość skurczu jest powszechnie znany. Wiadomo, iż typowe wartości skurczu mieszczą się w przedziale 0,4 – 0,8% dla tworzyw ter-

moplastycznych amorficznych i utwardzalnych oraz 1 – 4% dla tworzyw termoplastycznych krystalicznych, co spowodowane jest oczywiście bardziej gęstym upakowaniem makrocząsteczek w fazie krystalicznej polimerów. Powszechnie znany jest tutaj również korzystny wpływ prawie wszystkich rodzajów napęlniaczy, zarówno wzmacniających, jak i inertnych, na wielkość skurczu i tak np. PA6 z dodatkiem 30% włókna szklanego ma ok. 5-krotnie mniejszą wartość skurczu niż PA6 bez dodatków.

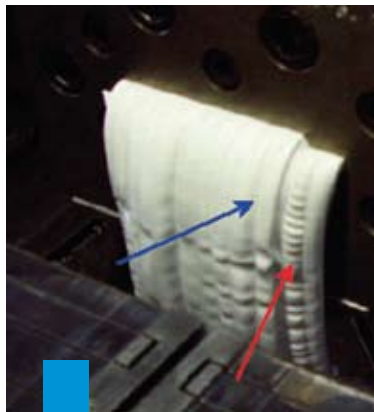
W odniesieniu do warunków przetwórstwa, problem skurczu przetwórczego został najlepiej zbadany dla procesu wtryskiwania. Ogólnie, znaczenie posiadają tutaj takie parametry, jak temperatura przetwarzanego materiału, temperatura narzędzia oraz przebieg ochładzania i kalibrowania wyrobu.

Odpowiednia konstrukcja wyrobu, jak również narzędzia formującego jest jak się wydaje najważniejszym zagadnieniem w praktycznej realizacji procesu wytłaczania, która sprawia najwięcej problemów i jest przyczyną największej ilości błędów podczas produkcji.

■ Konstrukcja wyrobu a konstrukcja głowicy i kalibratora

Analizując błędy profili płaskich uzyskiwanych z głowicy można stwierdzić, iż najczęściej mamy do czynienia z dwoma podstawowymi rodzajami wad tych wyrobów (rys. 2):

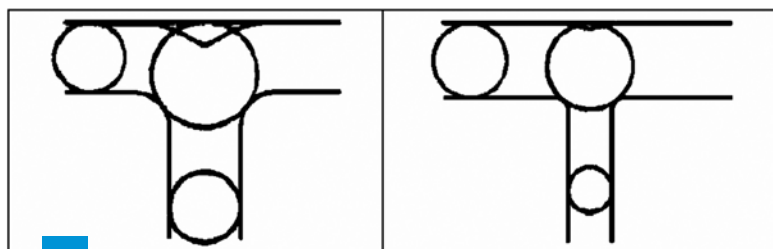
- pofalowania części wyrobu spowodowane jej zbyt szybkim wypływem w stosunku do pozostałej części wytłoczyny; dotyczy to ścianek zewnętrznych wyrobu (oznaczone strzałką czerwoną) – tego typu wady wymagają najczęściej korekty narzędzia,



Rys. 2. Swobodny wypływ z głowicy (materiały IPTS Metalchem w Toruniu)

- zapadnięcia podłużne wywołane przez obecność w tym miejscu łączenia ze ścianą wewnętrzną, co powoduje zbyt wolny wypływ materiału w stosunku do pozostałych części wytłaczanego profilu (oznaczone strzałką niebieską); wady te często mogą być wyeliminowane przez zastosowanie odpowiednich kalibratorów,
- zapadnięcia miejscowe spowodowane dużym nagromadzeniem materiału.

Najczęściej spotykaną przyczyną wzdłużnych zapadnięć w miejscach łączenia ścianek wytłaczanego profilu jest różnica w prędkości płynięcia tworzywa w różnych punktach dyszy. Różnica ta spowodowana jest najczęściej występowaniem ostrych krawędzi w narzędziu. W celu zniwelowania tej wady należałoby zastosować łagodne promienie przejścia, co jednak często jest niemożliwe ze względu na wymagany kształt profilu.



Rys. 3. Skupisko materiału na łączeniu ścianki zewnętrznej z wewnętrzną (z lewej) oraz sposób uniknięcia zapadnięć wyrobu (z prawej)

Przyjmuje się, iż promień ten powinien wynosić co najmniej 0,3-0,5 mm. W takim przypadku dopuszcza się wypływ obciążony niewielkimi wadami, a uzyskanie poprawnego wyrobu uzyskuje się stosując odpowiednie kalibratory. Innym rozwiązaniem, umożliwiającym uzyskanie jednakowe prędkości płynięcia materiału formującego poszczególne elementy wyrobu jest jego doprowadzenie do dyszy indywidualnymi kanałami.

Zapadnięcia spowodowane są również skutkiem skurczu materiału w miejscach, w których występuje duże nagromadzenie materiału, np. w miejscach łączenia ścianki zewnętrznej z wewnętrzną (rys. 3 z lewej strony).

Nadmiernych skupisk materiału należy unikać stosując wybrania materiału w odpowiednich miejscach lub wykonując w tym miejscu wypukłość, która zostanie zniwelowana w wyniku skurczu. Można również, jak to przedstawiono na rys. 3 z prawej strony, odpowiednio zmniejszyć grubość ścianki wewnętrznej w porównaniu z zewnętrzną. Przyjmuje się, że zapadnięcia będą pomijalnie małe, gdy grubość ścianki wewnętrznej będzie mniejsza niż 2/3 grubości ścianki zewnętrznej.

■ Podsumowanie

Analizując problemy związane z ustaleniem prawidłowego przebiegu procesu wytłaczania należy pamiętać, że na kształt oraz wymiary wyrobu wpływa równocześnie kilka wymienionych wcześniej czynników, takich jak rodzaj

tworzywa, warunki przetwórstwa oraz konstrukcja narzędzi przetwórczych. Źle skonstruowana głowica wytłaczarska będzie łatwo zidentyfikowana jako przyczyna błędów, ale nawet wykorzystując dobrze zaprojektowaną głowicę nie można otrzymać dobrego wyrobu bez odpowiednio skonstruowanego kalibratora oraz odpowiedniej kontroli całego procesu.

Należy również zwrócić uwagę, iż towarzyszące procesowi wytłaczania tworzyw polimerowych zjawiska, takie jak efekt Barusa oraz skurcz przetwórczy, jak również ciągły brak dokładnych wzorów użytecznych w praktyce inżynierskiej powodują, iż każde narzędzie ma charakter jednostkowy i niepowtarzalny. Każde narzędzie po procesie projektowania przechodzi w etap wykonania, który rozpoczyna się fazą kształtowania wstępnego. W dalszej kolejności, podczas prób z odpowiednim tworzywem na odpowiedniej wytłaczarce, podlega dopiero końcowej korekcie.

Optymalizacja geometrii narzędzi przetwórczych, która wykorzystywała dawniej jedynie doświadczenie oraz wyczucie konstruktorów i technologów, w ostatnich latach coraz częściej wykorzystuje rozwiązania komputerowe. Należy tu podkreślić, iż podejście doświadczone i teoretyczne wzajemnie się inspirują i uzupełniają, pomagając w bardzo dużym stopniu zmniejszyć nakłady czasowe i inwestycyjne przy projektowaniu narzędzi.

dr inż. Jacek Iwko
Politechnika Wroclawska

Literatura:

1. praca zbior. pod red. K. Wilczyńskiego, Przetwórstwo tworzyw sztucznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000
2. R. Sikora, T. Jachowicz, Wpływ czasu ochładzania na skurcz przetwórczy wytworów otrzymanych metodą wytłaczania z rodmuchiwaniami, Polimery, 2000, 45, 713
3. Ł. Dacyl, Głowice i kalibratory do wytłaczania profili, Materiały IPTS Metalchem w Toruniu
4. K. Wilczyński i in., Modelowanie zjawiska rozszerzania strugi polimerów za pomocą systemu Polyflow, Polimery, 1999, 44, 683
5. K. Wilczyński i in., Modelowanie problemu odwrotnego do problemu rozszerzania strugi polimerów za pomocą systemu Polyflow, Polimery, 2000, 45, 631