

WYBRANE PROBLEMY PROCESU WYTŁACZANIA TWORZYW POLIMEROWYCH ■ CZ. 4

Wytłaczarki dwuślimakowe. Porównanie jedno- i dwuślimakowych układów uplastyczniających



Duża liczba rozwiązań konstrukcyjnych wytłaczarek, głównie wytłaczarek ślimakowych świadczy o złożoności problematyki wytłaczania materiałów polimerowych. W celu poprawy wydajności procesu, polepszenia jakości wyrobów oraz bardziej efektywnego uplastyczniania tworzyw, w tym materiałów trudno przetwarzalnych (np. niestabilnych termicznie), oprócz wytłaczarek jednoślimakowych opracowano wytłaczarki wieloślimakowe, tarczowe, kaskadowe i inne. Największe zastosowanie w praktyce przemysłowej oprócz wytłaczarek jednoślimakowych znalazły, ze względu na ich zalety, wytłaczarki dwuślimakowe.

■ Podział

Wytłaczarki dwuślimakowe można podzielić biorąc pod uwagę różne kryteria. Najważniejszym z nich jest kierunek obrotów ślimaków i pod tym kątem wyróżnia się wytłaczarki:

- współbieżne, w których ślimaki obracają się w tym samym kierunku,
- przeciwbieżne, w których ślimaki obracają się w kierunkach przeciwnych.

Ze względu na stopień zazębienia zwojów obu ślimaków wytłaczarki dwuślimakowe można podzielić na zazębiające się całkowicie, częściowo lub niezazębiające się (rys. 1).

W przemyśle zastosowanie znalazły głównie wytłaczarki współbieżne i przeciwbieżne o zwojach zazębiających się nieuszczelnienie, w których występują luzy międzyzwojowe spełniające ważną rolę w procesie uplastyczniania, szczególnie w procesach homogenizacji materiałowej. Wśród wytłaczarek niezazębiających się praktyczne znaczenie posiadają wyłącznie wytłaczarki przeciwbieżne. Warto zwrócić uwagę, że w wytłaczarkach dwuślimakowych ze ślimakami zazębiającymi się zwoje (oraz kanały) ślimaków nie mogą być kształtowane w sposób dowolny tak, jak to miało miejsce w przypadku wy-

tłaczarek jednoślimakowych. Kształty i wymiary kanałów oraz zwojów jednego ślimaka są tutaj ściśle zależne od kształtów i wymiarów drugiego.

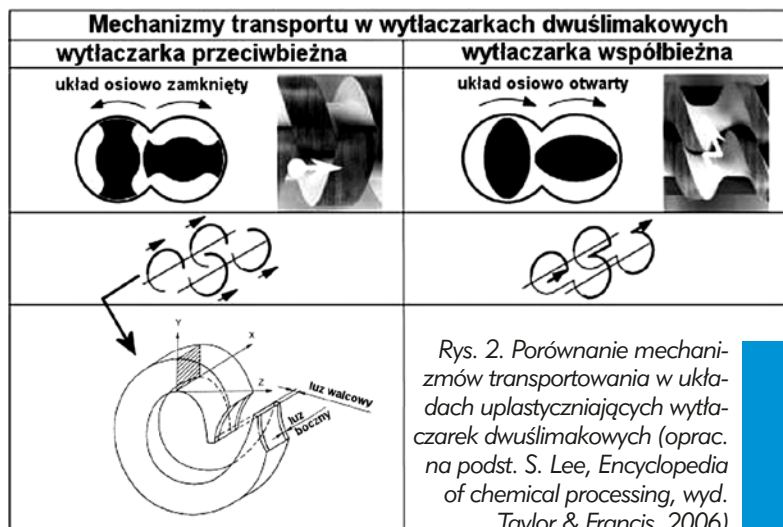
Inne, ważne kryterium podziału to krotność zwojów ślimaka i tak wśród wytłaczarek dwuślimakowych znane są maszyny jedno-, dwu- lub trójzwo-

jowe. Ponadto wytłaczarki dwuślimakowe mogą się różnić kształtem rdzeni ślimaków (wersje walcowe i stożkowe). Maszyny o wydajności do 200-300 kg/h wykonywane są najczęściej jako stożkowe, natomiast maszyny o większej wydajności produkują się jako walcowe.

Wytłaczarki dwuślimakowe

	współbieżne	przeciwbieżne
Zazębiające się szczelnie		
Zazębiające się nieuszczelnienie		
Niezazębiające się		

Rys. 1. Podział wytłaczarek dwuślimakowych.



Rys. 2. Porównanie mechanizmów transportowania w układach uplastyczniających wylączarek dwuślimakowych (oprac. na podst. S. Lee, Encyclopedia of chemical processing, wyd. Taylor & Francis, 2006)

znajdują zastosowanie przede wszystkim w wylączaniu profili z materiałów wrażliwych termicznie, np. PVC, jak również do realizowania specjalnych operacji technologicznych, jak mieszanie tworzyw, odgazowanie czy wylączanie reaktywne.

Wylączarki dwuślimakowe przeciwbieżne

Postęp w budowie wylączarek dwuślimakowych przeciwbieżnych związany jest przede wszystkim z wzrastającym znaczeniem przetwórstwa PVC niezmiękczonego, który występuje w postaci tzw. suchej mieszanki. Wynika to z chęci obniżenia kosztów przetwórstwa poprzez pominięcie procesu granulowania. Przetwórstwo granulatu PVC połączone jest ponadto ze zwiększonym obciążeniem cieplnym materiału, co jest dużą niedogodnością z powodu małej odporności termicznej tego polimeru.

Z punktu widzenia przebiegu procesu uplastyczniania, wylączarki dwuślimakowe przeciwbieżne różnią się od współbieżnych (oraz od wylączarek jednoślimakowych) odmiennym sposobem transportowania tworzywa. W wyniku załączenia się przeciwbieżnych ślimaków, w układzie uplastycz-

niającym wylączarki przeciwbieżnej w dużym stopniu tworzą się zamknięte odcinki kanałów śrubowych w kształcie tzw. zwichrowanej litery „C” (rys. 2), które łączą się ze sobą tylko poprzez szczeliny międzywałcowe boczne i walcowe.

Występowanie tego typu zamkniętych komór implikuje wymuszony mechanizm transportowania tworzywa w wylączarkach przeciwbieżnych. W jego wyniku, a więc wypychania materiału z komory jednego ślimaka poprzez zwój drugiego szczelinami bocznymi i walcowymi do komory drugiego ślimaka, uzyskuje się korzystny, wąski rozkład czasu przebywania tworzywa w wylączarce, a przy tym powstaje niewiele energii cieplnej, co umożliwia przetwarzanie materiałów wrażliwych termicznie.

Układ uplastyczniający wylączarki dwuślimakowej zbudowany jest z cylindra, ślimaków, elementów grzejno-chłodzących umieszczonych na cylindrze oraz układu wyrównywania temperatur ślimaków (w tym celu ślimaki są drążone). W typowej wylączarce przeciwbieżnej poszczególne strefy układu uplastyczniającego obejmują kolejno strefę zasypu, zasilania, podgrzewania (uplastyczniania) i mieszania, sprężania, odgazo-

wania i dozowania. Ciepło we współczesnych wylączarkach jest doprowadzane do tworzywa głównie poprzez rozproszenie energii napędu wskutek tarcia i ścinania materiału, jak również pobierane jest z elementów grzejnych cylindrów (i niekiedy ślimaków).

Wylączarki przeciwbieżne zapewniają w szerokim zakresie warunków wylączania ciągły i wymuszony transport materiału. Sprawność transportowa zależna jest od wartości luzów międzyzwojowych ślimaków. Układy przeciwbieżne charakteryzują się szczególnie dobrym pobieraniem i transportem materiałów o małej sypkości, przy czym na wydajność pobierania tworzywa ma wpływ sposób jego podawania (najczęściej z zastosowaniem ślimakowych podajników masowych) oraz stopień wypełnienia kanałów. Ten ostatni zależy głównie od sypkości materiału i tak dla mieszanek o małej i średniej gęstości nasypowej kanały wypełniane są całkowicie, a dla dużych sypkości wypełnia się je częściowo. Warto zaznaczyć, iż najłatwiejsza w przetwórstwie jest mieszanka PVC o małym rozrzucie wielkości ziaren, z kolei przy dużych rozrzutach średnic i szklistej budowie ziaren występują duże trudności w przetwórstwie takich materiałów z powodu konieczności stosowania dużych sił ścinających w materiale, który jest niestabilny termicznie. Występująca za strefą zasypu strefa zasilania charakteryzuje się na ogół dużą powierzchnią oraz małą ilością zwojów.

Strefa uplastyczniania i mieszania ma dużą powierzchnię i często występuje jako pojedyncza (częściej w układach stożkowych) lub podwójna. Oprócz nagrzewania materiału, prowadzącego do aglomeracji i topienia

proszku, ma również za zadanie wstępne wymieszanie materiału. Mieszanie tworzyw w układach uplastyczniających dzieli się na: ścinające (rozdrabniające) składniki mieszaniny oraz rozprowadzające, a to ostatnie podzielić można na podłużne i poprzeczne. Niewielka jest efektywność rozprowadzającego mieszania wzdłużnego materiału w wylączarkach przeciwbieżnych. Jej poprawę uzyskuje się poprzez zastosowanie, głównie w strefach sprężania i dozowania, specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych elementów tychże stref (np. zastosowanie strefy sprężania o przeciwnym kierunku pochylenia linii śrubowej lub tzw. wybrania w grzbietach zwojów – przecięcia zwojów, zapewniające transport tworzywa pomiędzy komorami). Układy przeciwbieżne zapewniają natomiast dość dobre rozprowadzające wymieszanie poprzeczne materiału wskutek jego intensywnego ścinania w szczelinach bocznych.

Stopień sprężania tworzywa zależy głównie od jego czasu przebywania w strefie mieszania oraz jego właściwości przetwórczych, a jego wartość liczbową zawiera się w zakresie 2,0 – 3,0. Osiągnięcie założonego stopnia sprężania ślimaków realizowane jest zazwyczaj poprzez następujące rozwiązania konstrukcyjne:

- zmniejszenie skoku linii śrubowej zwojów (ew. zwiększenie szerokości zwojów),
- zmniejszenie wysokości kanałów ślimaków,
- umieszczenie w strefie sprężania elementu dławiącego przepływ materiału.

Ważnym zadaniem strefy sprężania jest uszczelnienie strefy odgazowania oraz wspomaganie strefy uplastyczniania.

Materiał opuszczając strefę sprężania jest nagrzany na tyle, iż ulega aglomeracji, która jest

stanem przejściowym pomiędzy stanem stałym (proszkiem) a uplastycznionym. Powierzchnia zewnętrzna tworzywa jest tu bardzo duża, a wysoka temperatura powoduje podniesienie ciśnienia gazowych produktów znajdujących się w tworzywie, takich jak powietrze, para wodna czy inne związki małych cząsteczkowe, które zostają usunięte w strefie odgazowania za pomocą pompy próżniowej. Aby proces odgazowania mógł zajść w sposób optymalny, materiał nie powinien znajdować się jeszcze w stanie uplastycznionym, jak również zaleganie materiału powinno być jak najmniejsze, stąd ślimaki w tej strefie powinny charakteryzować się małymi luzami międzyzwojowymi. Ponieważ w strefie tej materiał ulega rozprężeniu, objętości kanałów powinny być zwiększone o ok. 50-100% w porównaniu do strefy zasilania np. poprzez zwiększenie skoku linii śrubowej ślimaków.

Ostatnią strefą jest strefa dozowania, której podstawowe zadania to równomierne uplastycznienie oraz homogenizacja stopionego tworzywa, co wymaga zwiększenia szerokości luzów międzyzwojowych, jak również zminimalizowanie pulsacji ciśnienia. Ponieważ transport materiału odbywa się również w strefie dozowania w zamkniętych komorach w kształcie zwichrowanej litery „C”, powoduje to pulsacyjny wypływ stopu ze strefy dozowania. Wielkość pulsacji ciśnienia zależy przede wszystkim od wielkości luzów międzyzwojowych oraz krotności uzwojeń ślimaków w strefie dozowania. W celu zmniejszenia pulsacji ciśnienia ślimaki w tej strefie wykonywane są zazwyczaj jako 2- lub 3-zwojowe, przy czym należy pamiętać, iż wraz ze wzrostem krotności ślimaka

pulsacja maleje, ale wzrasta powierzchnia zewnętrzna ślimaków, a wraz z nią ilość ciepła generowanego wskutek tarcia tworzywa o ślimaki.

Na końcu strefy dozowania należy wytworzyć odpowiednio duże ciśnienie w stopionym tworzywie, umożliwiające pokonanie oporów przepływu w głowicy. Generowane są ciśnienia rzędu 20-50 MPa, przy czym pracując przy ciśnieniach z górnego zakresu należy pamiętać o znacznych ciśnieniach działających na szczeliny czołowe ślimaków, powodujących w konsekwencji rozpychanie ślimaków na boki, a co za tym idzie, zwiększone zużycie trybologiczne całego układu uplastyczniającego.

Obecnie w konstrukcji dwuślimakowych wylączarek przeciwbieżnych obserwowane są tendencje do zwiększania wydajności procesu wylączania. Cel ten osiąga się poprzez wydłużanie układów uplastyczniających nawet do 36D, jak również zwiększanie głębokości kanałów ślimaków oraz wartości momentów napędowych ślimaków.

Wylączarki dwuślimakowe współbieżne

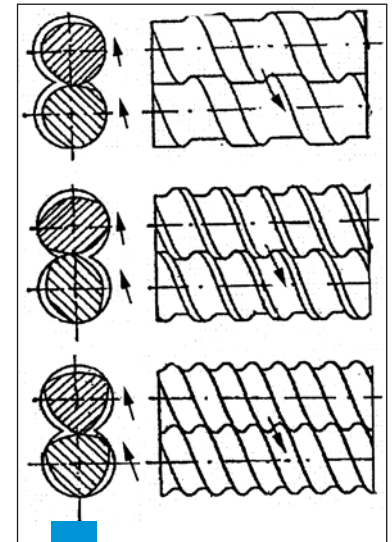
Wylączarki dwuślimakowe współbieżne charakteryzują się znaczną efektywnością mieszania i przeznaczone są przede wszystkim do wytwarzania mieszanin tworzyw oraz kompozytów polimerowych. Znajdują również zastosowanie w liniach przetwarzania tworzyw użytkowych (również zawilgoconych), jak również do bezpośredniego wylączania rur oraz folii. Ich zaletą jest ponadto możliwość wprowadzania napełniaczy do tworzywa już uplastycznionego, co ma szczególne znaczenie przy wykorzystaniu dodatków o silnym działaniu ściernym.

W układach dwuślimako-

wych współbieżnych odcinki śrubowe kanałów są w znacznym stopniu połączone wzdłużnie (rys. 2), jak również ma miejsce częściowe połączenie poprzeczne odcinków kanałów ślimaków. Transport tworzywa w wylączarkach współbieżnych odbywa się zatem głównie, podobnie jak w wylączarkach jednoślimakowych, wskutek przepływu wlezonego, wspomaganego przydławianiem wstecznego przepływu ciśnieniowego. Wartość przydławiania zależy od krotności kanału ślimaka oraz stosunku średnicy zewnętrznej do wewnętrznej (rdzenia) ślimaków, OD/ID, wynosi od ok. 0,15 (dla układów dwuzwojowych) do ok. 0,4 (dla jednozwojowych) i jest dużo mniejsza niż dla wylączarek przeciwbieżnych, gdzie stopień dławienia zbliża się do jedności. Występuje tu także niewielki przepływ wymuszony.

Proces uplastyczniania tworzyw w wylączarkach współbieżnych zachodzi przy kilkunastokrotnie większych prędkościach obrotowych w porównaniu z układami przeciwbieżnymi. Ważną cechą układów współbieżnych jest samooczyszczanie się ślimaków na skutek przeciwnych kierunków ruchu powierzchni obu ślimaków w szczelinach międzyzwojowych, szczególnie przy małych wartościach luzów międzyzwojowych i dużych szybkościach ścinania.

Wylączarki dwuślimakowe współbieżne wykonywane są jako jedno- dwu- lub trójzwojowe (rys. 3), przy czym największe znaczenie mają układy dwuzwojowe. Elementy jednozwojowe mają zastosowanie w konstrukcji stref zasypu i zasilania, gdzie umożliwiają dużą efektywność transportowania tworzywa. Poza tym układy jednozwojowe niekiedy wykorzystywane są w strefie dozowania, minimali-



Rys. 3. Układy dwuślimakowe współbieżne jednozwojowe (na górze), dwuzwojowe (w środku) oraz trójzwojowe (na dole). (oprac. na podst. Stasiak J., Wylączanie tworzyw polimerowych. Zagadnienia wybrane, WUUTP, Bydgoszcz 2007)

zując przepływy wsteczne. Układy dwuzwojowe są najczęściej stosowane ze względu na znaczną głębokość kanałów ślimaków ($DO/DI = 1,4 - 1,8$), zapewniającą dużą wydajność oraz niewielką szybkość ścinania przetwarzanego materiału. Stosowane są do przetwarzania i mieszania polimerów z napełniaczami proszkowymi i włóknistymi, także do układów o obniżonej odporności cieplnej. Układy trójzwojowe, charakteryzujące się małą głębokością kanałów ($DO/DI = 1,2 - 1,3$), wykorzystywane są w procesach wymagających zastosowania bardzo dużych sił ścinających, np. w procesach barwienia tworzyw z wykorzystaniem pigmentów o dużych cząstkach, wymagających ich rozbicia i dokładnego zdyspersjonowania w osnowie.

Wylączarki dwuślimakowe współbieżne pracują najczęściej przy częściowym wypełnieniu kanałów ślimaków. Stopień wypełnienia łatwo regulować poprzez zmianę skoku zwoju i tak segmenty o dużym skoku znaj-

dują zastosowanie w strefach zasypu, odgazowania i wprowadzania składników dodatkowych. Elementy o małym skoku stosowane będą w strefach, w których wymagane jest całkowite wypełnienie kanału tworzywem polimerowym.

W układach dwuślimakowych współbieżnych występuje równocześnie kilka mechanizmów mieszania:

- mieszanie walcowe (rozprowadzające i rozcierające), spowodowane przepływem materiału przez szczeliny międzyzwojowe,
- mieszanie ugniatające (rozprowadzające i rozcierające), zachodzące w uplastycznionym materiale i wymuszone przepływem materiału w przestrzeni pomiędzy tzw. walcowymi elementami krzywkowymi, jak również pomiędzy tymi elementami a cylindrem.

W strefach intensywnego mieszania i uplastyczniania ślimaków współbieżnych wykorzystuje się często segmenty ugniatające, zbudowane z szeregu tarcz krzywkowych (rys. 4). Ich działanie można porównać do działania elementów transportujących przy założeniu, że kąt nachylenia zwoju wynosi 90° , tzn. nie wywołują one ruchu materiału w kierunku osi ślimaków, a wyłącznie w kierunku poprzecznym do osi.

Właściwości transportowe oraz mieszające segmentów ugniatających zależą od kąta α pomiędzy osiami tarcz krzywkowych (zazwyczaj α przyjmuje wartości 30° , 45° , 60° lub 90°), grubości tarczy (mieszczącej się w granicach $0,1 - 0,3D$) oraz kierunku pochylenia pozornej linii śrubowej kolejnych grzbietów tarcz (segmenty prawe, neutralne lub lewe; prawe wspomagają transport materiału, lewe powodują transport w kierunku przeciwnym, spiętrzając materiał). I tak wzrost kąta α powoduje spadek intensywności transportowania oraz wzrost intensywności mieszania, zarówno rozprowadzającego, jak i rozcierającego. Natomiast zwiększenie grubości tarczy powoduje wzrost intensywności transportu oraz mieszania rozcierającego, natomiast spadek mieszania rozprowadzającego. Znane i stosowane są jeszcze inne rodzaje elementów mieszających, takie jak stosowane w wylączarkach jednoślimakowych elementy mieszające z przeciętymi pierścieniami lub segmenty wielokątne czy ugniatające o bardzo dużym skoku w układzie asymetrycznym.

Kierunki dalszego rozwoju wylączarek dwuślimakowych współbieżnych związane są, podobnie jak w wylączarkach przeciwbieżnych, ze zwiększaniem wydajności wytłaczania. Są

one realizowane przede wszystkim poprzez zwiększanie głębokości kanałów ślimaków, wzrost szybkości obrotowej ślimaków (nawet do 2000 obr/min) oraz zwiększenie jednostkowego momentu napędowego ślimaków.

■ Porównanie układów uplastyczniających wylączarek jedno- i dwuślimakowych

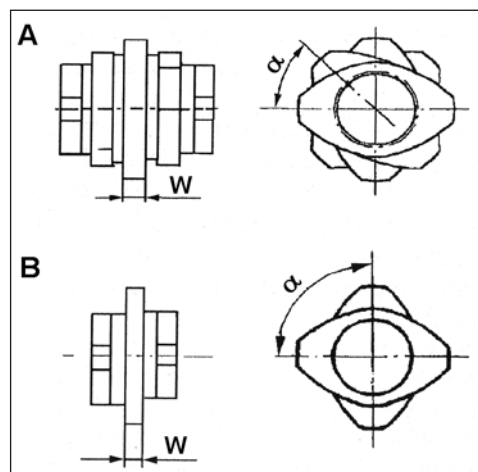
Wybór rodzaju wylączarki (jednoślimakowa, dwuślimakowa współbieżna czy dwuślimakowa przeciwbieżna) zależy od dwóch podstawowych czynników:

- rodzaju i postaci surowca polimerowego wprowadzanego do wylączarki oraz
- wymagań jakościowych wyrobów.

Sprawność transportowania tworzywa w wylączarkach jednoślimakowych zależy od wartości współczynników tarcia tworzywo-cylinder oraz tworzywo-ślimak. Aby poprawić zdolności transportujących układów jednoślimakowych stosuje się, umieszczane w strefie zasilania rowkowane i silnie chłodzone części cylindrów. W wylączarkach dwuślimakowych przeciwbieżnych występują zamknięte wzdłużnie i poprzecznie odcinki kanałów w kształcie zwichrowanej litery „C”. W dość szerokim zakresie warunków przetwórstwa ma miejsce ciągły transport wymuszony połączony z generowaniem dużego ciśnienia oraz niezbyt dużych ilości ciepła, co ma szczególne znaczenie przy przetwarzaniu materiałów wrażliwych termicznie. Sprawność transportu zależy w tym przypadku od wartości luzów międzyzwojowych. W wylączarkach dwuślimakowych współbieżnych mamy do czynienia również z komorami w kształcie litery „C” (rys. 2), lecz są one

w znacznym stopniu połączone wzdłużnie oraz częściowo poprzecznie. Transport w układach współbieżnych odbywa się, podobnie jak w klasycznych wylączarkach jednoślimakowych, na skutek przepływu wlezonego, przy czym jednak zostaje zahamowany wsteczny przepływ ciśnieniowy. Efektywność transportu materiałów proszkowych jest znacznie większa dla wylączarek dwuślimakowych, niż jednoślimakowych.

Jednym z ważniejszych kryteriów efektywności uplastyczniania i mieszania materiałów w wylączarkach jest szybkość ścinania tworzywa, związana z szybkością obrotową ślimaków oraz odległością pomiędzy dwoma powierzchniami elementów maszyny wykonującymi względem siebie ruch względny, pomiędzy którymi znajdują się cząstki uplastycznianego materiału. Największa szybkość ścinania występuje w szczelinach międzyzwojowych układów uplastyczniających wylączarek dwuślimakowych współbieżnych. Wylączarki te pracują przy prędkościach obrotowych kilkanaście do kilkadziesiąt razy większych niż wylączarki dwuślimakowe przeciwbieżne i kilka razy większych niż wylączarki jednoślimakowe. Posiadają, więc one najlepsze właściwości uplastyczniające oraz mieszające, zarówno pod względem mieszania rozprowadzającego, jak i rozdrabniającego (ścinającego). Z tego też powodu część ślimaka odpowiadająca za uplastycznienie materiału (strefy zasilania oraz uplastyczniania) może być skrócona i mieć długość 5-7D, podczas gdy w układach jednoślimakowych łączna długość obu tych stref wynosi ok. 13-17D. Badania wykazały również, iż do procesów mieszania tworzyw oraz wytwarzania



Rys. 4. Przykładowe segmenty ugniatające:
A – segment prawy, $\alpha = 45^\circ$,
B – segment neutralny, $\alpha = 90^\circ$
(oprac. na podst. Stasiak J., Wylączanie tworzyw polimerowych. Zagadnienia wybrane, WUUTP, Bydgoszcz 2007)

Tabela 1. Wybrane charakterystyki układów uplastyczniających wylączarek (oprac. na podst. Stasiak J., Wylączanie tworzyw polimerowych. Zagadnienia wybrane, WUUTP, Bydgoszcz 2007)

CZYNNIKI	WYLĄCZARKA JEDNOŚLIMAKOWA	WYLĄCZARKA DWUŚLIMAKOWA PRZECIWBIEŻNA	WYLĄCZARKA DWUŚLIMAKOWA WSPÓLBIEŻNA
pobieranie materiału z zasobnika	dostateczne	bardzo dobre	bardzo dobre
uplastycznianie	dobrze	dobrze	bardzo dobre
mieszanie rozpraszające	dobrze	dostateczne	bardzo dobre
mieszanie rozdrabniające	dobrze	bardzo dobre	bardzo dobre
rozkład czasu przebywania tworzywa w wylączarce	szeroki	bardzo wąski	wąski
odgazowanie	dostateczne	dobrze	dobrze
wytwarzanie ciśnienia	dobrze	bardzo dobre	dostateczne
samooczyszczanie się ślimaków	słabe	dobrze	bardzo dobre

nia niektórych polimerowych materiałów kompozytowych można z powodzeniem stosować wylączarki dwuślimakowe

przeciwbieżne walcowe, przy czym powinny być one wyposażone w specjalne elementy intensyfikujące procesy uplastycz-

niania i mieszania.

W tabeli 1 przedstawiono zbiorczo porównanie wybranych charakterystyk układów uplastyczniających wylączarek. Widać, iż biorąc pod uwagę pobieranie materiału, uplastycznianie i homogenizację, najbardziej korzystnie prezentują się wylączarki dwuślimakowe współbieżne.

Wylączarki jednoślimakowe, ze względu na niewielką cenę znalazły największe zastosowanie głównie w przetwórstwie tworzyw homogenicznych, jednego rodzaju. Wylączarki dwuślimakowe współbieżne, pracujące przy znacznie wyższych prędkościach obrotowych oraz charakteryzujące się większym generowaniem energii cieplnej wskutek rozpraszania energii mechanicznej, wymagające dużych nakładów in-

westycyjnych, znajdują zastosowanie głównie w bezpośrednim wytwarzaniu gotowych półwyrobów z tworzyw modyfikowanych i kompozytów polimerowych. Wylączarki dwuślimakowe przeciwbieżne, ze względu na niewielkie prędkości obrotowe ślimaków oraz niewielkie siły ścinające występujące w układzie uplastyczniającym, znalazły zastosowanie głównie w przetwórstwie tworzyw o małej stabilności cieplnej, jak kauuczki czy PVC.

Jacek Iwko
Politechnika Wroclawska

Literatura:

1. Stasiak J., Wylączanie tworzyw polimerowych. Zagadnienia wybrane, Wyd. Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno – Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2007
2. Poltersdorf B., Theumert H., Charakterystyka i zastosowanie dwuślimakowych wylączarek laboratoryjnych, mat. Plastech 99, Plastech Wydawnictwo Poradników i Książek Technicznych, Warszawa 1999