

Tomasz GARBACZ^{1)*}, Dorota CZARNECKA-KOMOROWSKA²⁾, Kinga MENCEL²⁾

¹⁾Politechnika Lubelska, Katedra Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych

²⁾Politechnika Poznańska, Zakład Tworzyw Sztucznych

*e-mail: t.garbacz@pollub.pl

Efektywność przetwórstwa porowanych rur osłonowych z PVC

Streszczenie: Proces wytłaczania porującego jest metodą przetwórstwa mającą na celu otrzymanie między innymi kształtowników, prętów, rur, powłok porowatych o zmniejszonej gęstości oraz pozbawionych zapadnięć na powierzchni wytłoczyny i wykazujących minimalny skurcz przy jednoczesnym zachowaniu zbliżonych właściwości wytworów wytłaczanych metodą konwencjonalną. W artykule przedstawiono specyfikę procesu wytłaczania porującego PVC. W badaniach procesu wytłaczania porującego zastosowano nowoczesne środki porujące chemicznie o endotermicznym oraz egzotermicznym procesie rozkładu, dozowane w ilości do 1,5 % masowych w stosunku do masy tworzywa. Przeprowadzono obszerne badania efektywności procesu wytłaczania porującego obejmujące określenie wydajności procesu, zużycia energii podczas przetwórstwa, sprawności energetycznej wytłaczania porującego.

Słowa kluczowe: efektywność procesu, wytłaczanie porujące, środki porujące, rurki osłonowe

PROCESSING EFFECTIVENESS OF CELLULAR PVC SHIELDING TUBES

Abstract: Cellular extrusion is a method for manufacturing profiles, bars, low density cellular coatings and other cellular products that have no hollow cavities on the surface and show minimal processing shrinkage, while their properties are similar to those of products produced by conventional extrusion. The paper deals with cellular extrusion of PVC. The investigation of the process was conducted using state-of-the-art endothermic and exothermic blowing agents that were dosed in up to 1.5 % by weight. The experiments involved measuring output, energy consumption and energy efficiency of the process.

Keywords: effectiveness of polymer processing, cellular extrusion, blowing agents, shielding tubes

1. WSTĘP

Tworzywa termoplastyczne w procesie wytłaczania porującego mogą być porowane za pomocą środków (porofoforów) dzielonych tradycyjnie [1, 2, 3] na chemiczne oraz fizyczne środki porujące. Do fizycznych środków porujących (blowing agents) należą: węglowodory, woda, azot i dwutlenek węgla, które dodawane są w postaci płynnej względnie gazowej do roztopionego w układzie uplastyczniającym polimeru i mieszane z wykorzystaniem nukleantów, np. talku. Natomiast chemiczne środki porujące są dodawane do granulatu tworzywa jako substancje stałe (proszek, granulaty) i zadawane do układu uplastyczniającego najczęściej przez dozowniki grawimetryczne czy wolumetryczne. Mieszanka tworzywa i porofoforu zostaje następnie przetwarzana w układzie uplastyczniającym

i kształtowana w tradycyjnym narzędziu (formie wtryskowej, głowicy, itp.) [4, 5, 6]. Podobnie jak w przypadku porofoforów fizycznych uzyskuje się tutaj gaz rozpuszczony w tworzywie [3, 6, 7].

W przetwórstwie tworzyw polimerowych duże znaczenie dla efektywnego przebiegu procesu wytłaczania mają zjawiska występujące w układzie uplastyczniającym. Ważną funkcję pełnią warunki technologiczne procesu oraz właściwości konstrukcyjne układu uplastyczniającego wytłaczarki. Zagadnienia wpływu konstrukcji układu uplastyczniającego, otworu zasypowego, cylindra oraz ślimaka wytłaczarki na efektywność procesu wytłaczania są poruszane w publikacjach naukowych [8, 9] zespołu J.W. Sikora i B. Samujło, jednak dotyczą one procesu wytłaczania tworzyw litych i nie podają kompleksowych uniwersalnych zależności oraz rozwiązań, tym bardziej dotyczących procesu wytłaczania porującego.

Mimo zatem stosunkowo dużej liczby publikacji dotyczących wytłaczania, w tym wytłaczania porującego, w zasadzie brak jest informacji dotyczącej efektywności tego procesu podczas wytłaczania różnych środków porujących z niezmienną geometrycznie wytłaczarką oraz jednakową wartością początkową parametrów technologicznych.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. MATERIAŁY I STANOWISKO BADAWCZE

Celem omówionych w artykule badań jest doświadczalne określenie wpływu rodzaju charakterystyki rozkładu środka porującego oraz jego zawartości w przetwarzanym tworzywie na przebieg i efektywność procesu wytłaczania porującego PVC plastyfikowanego. Przebieg procesu wytłaczania porującego opisano zmianami masy wytłoczony natomiast jego efektywność określono poprzez zmiany masowego natężenia przepływu tworzywa, mocy doprowadzanej do wytłaczarki, mocy przenoszonej przez tworzywo, oraz sprawności energetycznej procesu wytłaczania.

W badaniach, przedstawionych w artykule, zastosowano poli(chlorek winylu) plastyfikowany oraz trzy rodzaje środków porujących chemicznie. Środki te są modyfikatorami, które przez chemiczne reakcje w wyższych temperaturach, przez rozpad organicznych lub nieorganicznych wiązań, wydzielają gazy a następnie w wyniku powinowactwo do polimeru tworzą strukturę porowatą. Środki porujące zastosowane w badaniach są to układy materiałowe mające endotermiczny lub egzotermiczny charakter rozkładu. Maja one postać granulatu, co pozwoliło na ich mechaniczne mieszanie z przetwarzanym tworzywem.

PVC o nazwie handlowej Alfavinyl i symbolu GMF/4-31TR, wytwarzany jest przez przedsiębiorstwo Alfa PVC Sp. z o.o (Polska). Według danych producenta tworzywo to charakteryzuje się gęstością $\rho_{(23\pm 2^\circ\text{C})}$ od 1230 do 1400 kg/m³, MFR_(150°C/10,29kg) wynoszącym 4,3-4,6 g/10 min, wydłużeniem przy zerwaniu do 300 %, wytrzymałością na rozciąganie przy

zerwaniu ≥ 21 MPa oraz twardością Shore'a A = 80. Zalecana temperatura przetwórstwa tego tworzywa wynosi od 120 do 190°C.

Środek porujący, Hostatron P1941 ma endotermiczny charakter rozkładu oraz właściwości nukleidyżujące. Ma on postać granulatu o ziarnach kulistych, średnicy 2÷3 mm. Temperatura początku rozkładu tego układu wynosi 160 °C. Środkiem porującym znajdującym się w tym układzie materiałowym jest mieszanina związków chemicznych w odpowiednich proporcjach, między innymi wodorowęglan sodu.

Adcol-blow UP-0Xb+X1020 to środek o egzotermicznym charakterze rozkładu, w postaci granulatu o ziarnach walcowych średnicy od 2 do 3 mm. Do osiągnięcia dobrej wydajności procesu porowania producent zaleca stosowanie temperatury przetwórstwa w zakresie 145÷180°C. Zalecana ilość tego układu w procesie wytłaczania porującego wynosi do 2,0 % mas.

Expancel 950 MB80 to środek porujący mający postać kulistych termoplastycznych kapsułek polimerowych (mikrosfer) zawierających gaz z grupy węglowodorów. Jest to środek o endotermicznym charakterze rozkładu. Mikrosfery Expancel nie mogą się łączyć ze sobą, ponieważ kapsułki zachowują swoje właściwości barierowe, co również skutecznie zapobiega uwalnianiu się zamkniętego gazu. Expancel 950 MB80 jest mieszaniną, która zawiera 65 % mikrosfer w kopolimerze etylen/octan winylu (EVA). Produktem rozkładu stosowanych środków porujących jest głównie dwutlenek węgla CO₂, minimalna ilość wody H₂O oraz azotu N₂.

Badania efektywności procesu wytłaczania porującego PVC plastyfikowanego, przeprowadzono przy wykorzystaniu laboratoryjnej linii technologicznej do wytłaczania kształtowników, której głównym elementem składowym była wytłaczarka jednoślindakowa T32-25 (Rys. 1. a, b). Układ uplastyczniający wytłaczarki, był wyposażony w cztery strefy grzejne, ślimak charakteryzował się stosunkiem L/D = 25 i średnicą zewnętrzną D = 32 mm. Zakres prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki wynosi od 0 do 120 obr/min i jest regulowany bezstopniowo.



Rys. 1. Wygląd fragmentu linii technologicznej wytłaczania porującego oraz wytwarzanej rurki

Fig. 1. View of technological line section for cellular extrusion process and with the duct produced

Narzędziem, mocowanym do układu uplastyczniającego wytłaczarki T32-25 jest głowica wytłaczarska rdzeniowa do rur. W przedstawionych badaniach zastosowano głowicę mającą dyszę o przekroju pierścieniowym, średnicy zewnętrznej równej 8,5 mm oraz średnicy rdzenia 6,5 mm. W skład laboratoryjnej linii wytłaczania porującego wchodzi także wanna chłodząca (rys. 1 a) oraz odciąg taśmowy o szerokości 100 mm i długości 2000 mm.

Proces wytłaczania porującego zrealizowano przy opracowanych i zadanych warunkach, nastawionych w linii technologicznej wytłaczania. Są one następujące: temperatura stref grzejnych układu uplastyczniającego odpowiednio: 140, 160, 170 i 180 °C; temperatura głowicy w strefach grzania 160 °C. Przy zastosowaniu tego rodzaju środków porujących ważne jest, aby w procesie wytłaczania, temperatura rozkładu poroformu została przekroczona przy odpowiednich warunkach przetwórstwa. Temperatura głowicy wytłaczarskiej, w procesie wytłaczania porującego, powinna być bliska temperatury rozkładu środka porującego. Zadana prędkość obrotowa ślimaka zmieniana była w zakresie 45÷95 obr/min. Temperatura czynnika chłodzącego w wannie chłodzącej, określona za pomocą czujnika temperatury mieściła się w zakresie 16÷19 °C.

2.2. CZYNNIKI BADANE

Ze względu cel badań oraz metodykę prowadzenia badań określono czynniki badawcze charakteryzujące badany proces wytłaczania porującego, a mianowicie czynników badanych bezpośrednio i pośrednio, czynników zmiennych oraz stałych.

W programie badań przyjęto jako czynniki wynikowe:

- masowe natężenie przepływu tworzywa G , kg/s,
- moc doprowadzana do wytłaczarki Q_w , W ,
- moc przenoszona przez tworzywo Q_v , W ,
- sprawność energetyczna procesu wytłaczania η_w , %.

Czynnikiem zmiennym jest:

- rodzaj charakterystyki rozkładu stosowanego środka porującego: środki o rozkładzie egzotermicznym, endotermicznym opisane w artykule,
- zawartość dozowanego środka porującego w tworzywie: 0,5; 1,0; 1,5 % mas.,
- prędkość obrotowa ślimaka wytłaczarki: 45, 70, 95 obr/min.

Czynnikami stałe to:

- rodzaj tworzywa - poli(chlorek winylu) Alfa-vinyl GMF/4-31TR,

- temperatura nastawiana w poszczególnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego wytłaczarki i głowicy wytłaczarskiej,
- czas wytłaczania odcinka wytłoczyny, 45 s,
- pozostałe elementy geometryczne układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej.

3. WYNIKI BADAŃ

W trakcie prowadzonych prób technologicznych wytłaczania porującego zasypywano do układu uplastyczniającego, zgodnie z przedstawionym planem badań, tworzywo PVC zawierające odpowiedni rodzaj środka porującego w ilości 0,5÷1,5 % masowych. Podczas prowadzonego procesu odczytywano zużycie energii elektrycznej, ważono masę wytworzonej rurki, otrzymanej w określonym czasie procesu. Po zakończeniu pomiarów zwiększano prędkość obrotową ślimaka i po ustabilizowaniu procesu przeprowadzano następne pomiary energii elektrycznej, temperatury wytłoczyny, masy wytworzonej rurki, przy kolejnej wartości prędkości obrotowej ślimaka. Według podanego schematu przeprowadzono pomiary czynników badanych bezpośrednio przy zastosowaniu tworzywa z zawartością trzech środków porujących chemicznie o innych charakterach rozkładu che-

micznego. Obliczenia czynników badanych pośrednio wykonano według ogólnie znanych zależności, zaczerpniętych z literatury [10, 11].

Ilość dozowanego do tworzywa środka porującego, w zakresie 0,5÷1,5 % mas. była tak dobrana, że przy założonych warunkach procesu wytłaczania, otrzymano wytłoczyny w postaci porowanej rurki osłonowej. Wygląd wytworzonych rurek, ich kształt oraz wymiary zewnętrzne są zgodne z kształtem i wymiarami wyrobów litych z PVC przetwarzanego. Na rysunku 2 pokazano przykłady wykorzystania wytworzonych rurek, stosowanych jako osłony kabli i przewodów różnych typów i zastosowań.

W wyniku przeprowadzonych badań procesu wytłaczania porującego poli(chlorku winylu) ustalono, zależności masowego natężenia przepływu tworzywa, mocy dostarczanej do wytłaczarki i przenoszonej przez tworzywo oraz sprawności energetycznej procesu wytłaczania, od rodzaju i zawartości środków porujących oraz prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki. Wartości czynników badanych bezpośrednio mierzono po dziesięć razy dla każdego rodzaju próbki. Wyniki przeprowadzonych pomiarów, obliczeń zamieszczono w tabeli 1, przedstawiając wartości czynników wynikowych określających efektywność procesu wytłaczania porującego. Wybrane wyniki



Rys. 2. Wygląd kanalizacji składającej się z zespołu rurek, rury osłonowej do osłony mikrokabli lub pojedynczych włókien optycznych

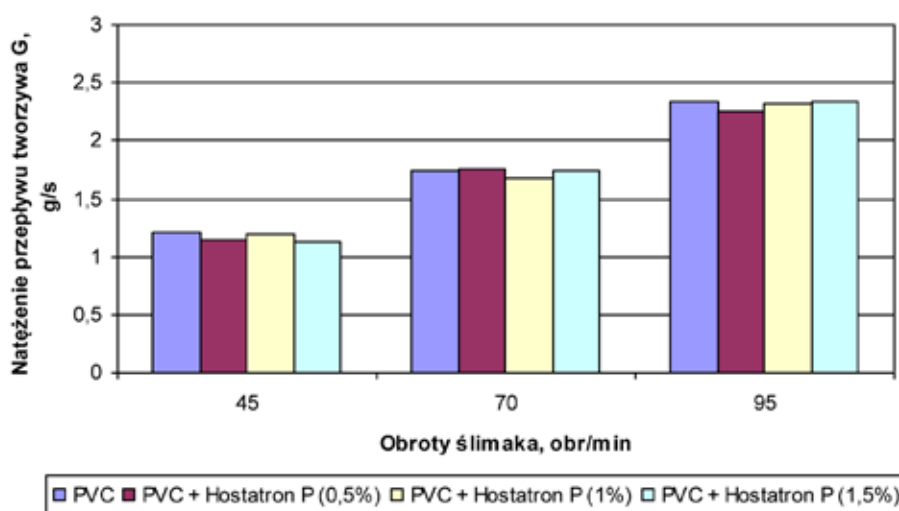
Fig. 2. View of the duct system consisting of a set of shielding tubes and tube for microcables or individual optical fibers protection

badania przedstawiono także w postaci graficznej odpowiednich zależności na rysunkach od 3 do 6.

Analizując wyniki pomiarów masy wytłoczonej oraz obliczeń masowego natężenia przepływu tworzywa, określającego wydajność procesu (rys. 3) można stwierdzić, że w miarę zwiększania prędkości obrotowej ślimaka wydajność procesu wytłaczania porującego wzrasta. Wzrost ten jest jednak zależny od zastosowanego środka porującego i jego zawartości. W przypadku zastosowania środka porującego w postaci mikrosfer wydajność procesu wzrastała średnio o 27 %, 18 %, 13 % odpowiednio dla zawartości 0,5 %, 1 %, 1,5 %. Dodanie środka porującego o rozkładzie endotermicznym spowodowało wzrost wydajności średnio o 16 %, 16 %, 11 %, natomiast dodatek środka o rozkładzie egzotermicznym spowodował wzrost wydajności średnio o 26 %, 23 %, 19 %. W każdej grupie badanych próbek największe różnice wydajności procesu wytłaczania odnotowano przy małych prędkościach obrotowych ślimaka, natomiast przy większych prędkościach obrotowych ślimaka wydajność procesu zmieniała się nieznacznie wraz ze wzrostem stężenia środka porującego.

Pomiary i obliczenia ilości energii dostarczonej do wytłaczarki oraz do tworzywa podczas przetwórstwa określono na podstawie obliczeń

mocy Q_w dostarczanej do wytłaczarki oraz mocy Q_t przenoszonej przez tworzywo, wykazały wpływ czynników zmiennych tj. rodzaju i zawartości środka porującego oraz prędkości obrotowej ślimaka na wielkości badane (Tab. 1). Zwiększanie prędkości obrotowej ślimaka, oraz stężenia środka porującego powodowało wzrost mocy przenoszonego przez tworzywo. Największy wzrost mocy zaobserwowano przy zastosowaniu środka porującego o rozkładzie endotermicznym. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej średni wzrost mocy przenoszonego przez tworzywo wynosił 36 % dla zawartości 0,5 %, 40 % dla 1,0 % i 51 % przy 1,5 % zawartości środka porującego. Dodatek środka porującego w postaci mikrosfer (Expancel 950 MB 80) powodował średni wzrost mocy przenoszonego przez tworzywo odpowiednio o 10 % dla 0,5 %, 25 % dla 1,0 % i 37 % dla 1,5 % mas. Najmniejszy wzrost mocy przenoszonej przez tworzywo uzyskano przy zastosowaniu poroforu o rozkładzie egzotermicznym. Średni wzrost mocy wyniósł 10 % dla 0,5 %, 13 % przy 1,0 % i 21 % dla zawartości 1,5 % środka. Biorąc pod uwagę stężenie środka porującego przy poszczególnych prędkościach obrotowych ślimaka, również zauważono stopniowy wzrost strumienia ciepła przenoszonego przez tworzywo porowate.



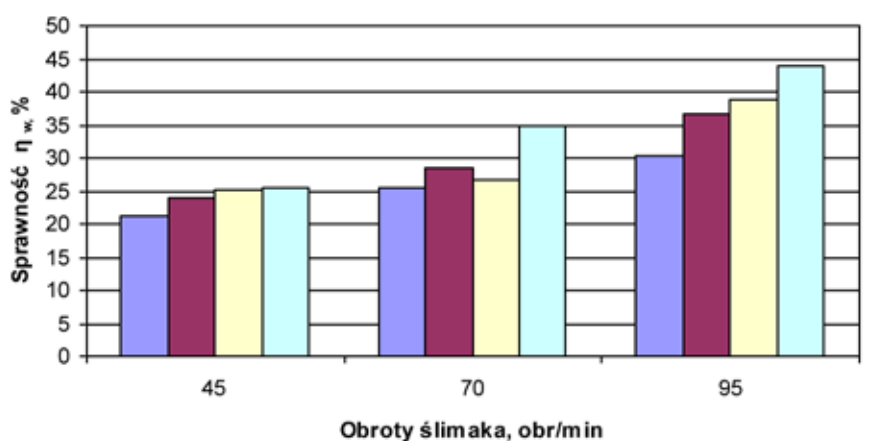
Rys. 3. Zależność masowego G natężenia przepływu tworzywa podczas procesu wytłaczania PVC porowanego środkiem o rozkładzie endotermicznym (Hostatron P1941), od prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki

Fig. 3. Dependence of mass flow rate G of cellular PVC with the use of endothermic blowing agent (Hostatron P1941) in the function of screw rotational speed

Tab. 1. Wyniki obliczeń mocy pobieranej przez wyciągarkę Q_w i mocy przenoszonej przez tworzywo Q_t w zależności od stosowanego środka porującego oraz obrotów ślimaka wyciągarki

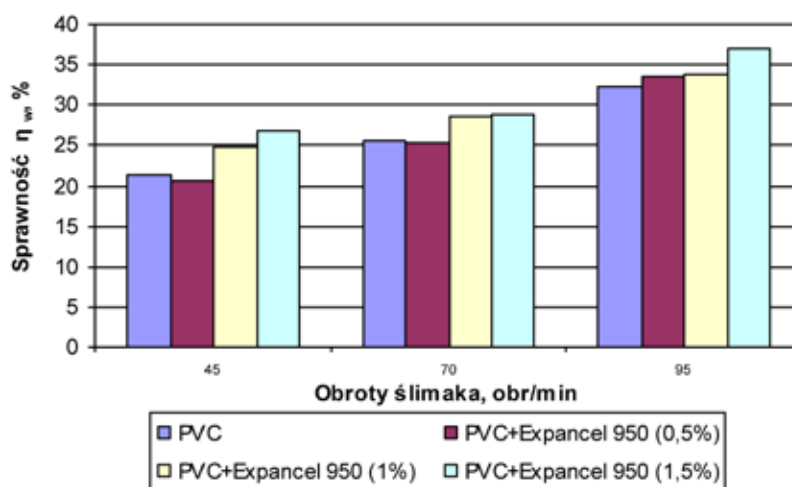
Tab. 1. Results of power conductor to the extruder Q_w and power conveyed by the polymer Q_t depending on the blowing agent used and extruder screw rotational speed.

Rodzaj tworzywa	Zawartość środka porującego, %	Prędkość obrotowa ślimaka wyciągarki, obr/min					
		45	70	95	45	70	95
		Moc pobierana przez wyciągarkę, Q_w			Moc przenoszona przez tworzywo, Q_t		
		kW			W		
PVC	0	3,529	4,000	5,172	540,90	781,65	1048,95
PVC+ Adcol-blow UP-0XB-X1020	0,5	4,688	4,054	5,556	519,75	749,70	927,90
	1,0	3,297	5,172	5,556	533,70	765,90	1047,60
	1,5	3,409	5,000	4,412	525,60	741,60	1055,70
PVC + Expancel 950MB 80	0,5	4,054	4,839	4,545	554,85	738,00	932,85
	1,0	4,412	5,263	5,747	482,85	712,80	906,75
	1,5	3,947	4,688	5,357	504,00	695,70	856,80
PVC + Hostatron P1941	0,5	3,571	4,054	5,068	517,95	792,90	1017,00
	1,0	2,778	4,777	4,688	538,65	751,95	1044,90
	1,5	3,750	4,412	5,769	509,85	783,9	1048,95



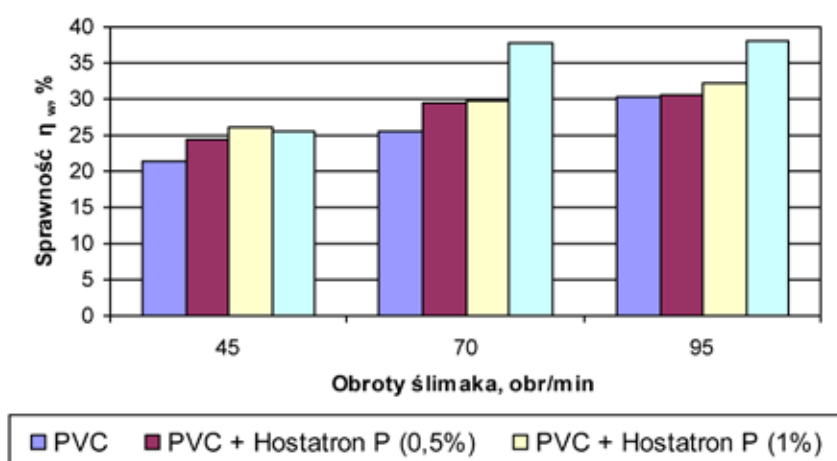
Rys. 4. Zależność sprawności energetycznej η_w procesu wytłaczania przy zastosowaniu środka o rozkładzie egzotermicznym (Adcol-blow UP-0XB-X1020) od zawartości środka oraz zmiany prędkości obrotowej ślimaka wyciągarki

Fig. 4. Dependence of energy efficiency η_e of the extrusion process with the use of exothermic blowing agent (Adcol-blow UP-0XB-X1020) in the function of screw rotational speed



Rys. 5. Zależność sprawności energetycznej η_w procesu wytłaczania przy zastosowaniu środka w postaci mikrosfer o rozkładzie endotermicznym (Expancel MB950 80) od zawartości środka oraz zmiany prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki

Fig. 5. Dependence of energy efficiency η_c of the extrusion process with the use of endothermic microspheres (Expancel 950MB 80) in the function of screw rotational speed



Rys. 6. Zależność sprawności energetycznej η_w procesu wytłaczania przy zastosowaniu środka o rozkładzie endotermicznym (Hostatron P1941) od zawartości środka oraz zmiany prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki

Fig. 6. Dependence of energy efficiency η_c of the extrusion process with the use of endothermic blowing agent (Hostatron P1941) in the function of screw rotational speed

Pomiary i obliczenia ilości energii dostarczonej do wytłaczarki oraz do tworzywa podczas przetwórstwa pozwoliły na wyznaczenie sprawności energetycznej procesu wytłaczania porującego. Analiza wyników badań, wykazała iż wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka i zawartości środków porujących, na-

stępuje wzrost sprawności energetycznej procesu (rys. 4-6). Zaobserwowano również, że największy wpływ na sprawność energetyczną miał środek porujący o rozkładzie endotermicznym, natomiast najmniejszy wpływ miał środek o rozkładzie egzotermicznym. Sprawność energetyczna procesu w przypadku wy-

tlaczenia polichloroku winylu bez zawartości środka porującego wyniosła średnio 25 %. Największą sprawność energetyczną procesu odnotowano w przypadku zastosowania 1,5 % środka porującego o rozkładzie egzotermicznym - do 42 %. Mniejszą sprawność wylączarki uzyskano stosując środek porujący o rozkładzie egzotermicznym, do 38 % oraz w postaci mikrosfer, do 37 %. Wyniki badań sprawności energetycznej wykazały wzrost sprawności energetycznej wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka i rodzajem środka porującego, natomiast nie wykazały ścisłej zależności pomiędzy zawartością procentową środka porującego, a sprawnością energetyczną procesu wylączania porującego.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań procesu wylączania porującego ustalono, że rodzaj charakterystyki rozkładu środka porującego, to jest środka o rozkładzie endotermicznym lub egzotermicznym oraz jego zawartość w tworzywie przetwarzanym ma wpływ na przebieg i efektywność procesu wylączania.

Ustalono, że zmiana rodzaju środka porującego i odpowiadająca jej zmiana zawartości środka porującego w tworzywie w zakresie od 0,5 do 1,5 % mas. wpływa w znaczący sposób na masowe natężenia przepływu tworzywa, określające wydajność procesu oraz moc przenoszoną przez tworzywo, co skutkuje zwiększeniem sprawności energetycznej procesu. Wzrost wartości natężenia przepływu wraz z powiększaniem zawartości w tworzywie przetwarzanym środka porującego, wynika głównie ze zmniejszenia oporów przepływu PVC porowanego w kanałach przepływowych i dyszy głowicy wylączarskiej. Cechy chemiczne tych środków mają wpływ na łatwość przemieszczania się tworzywa w układzie uplastyczniającym i głowicy wylączarskiej, co oddziałuje bezpośrednio na wydajność i sprawność procesu wylączania.

Stwierdzono, że największy wzrost wielkości badanych wystąpił podczas zastosowania środka porującego o rozkładzie endotermicznym, natomiast mniejszy wzrost powyższych wielkości spowodowało stosowanie środka o rozkładzie egzotermicznym. Zależności te wynikają z charakteru działania tych środków. Środek o rozkładzie endotermicznym pobiera ciepło podczas procesu przetwórstwa. Przy zadanych parametrach procesu wylączania powoduje to największy wzrost wydajności, czego konsekwencją jest najlepsze przewodzenie ciepła przez tworzywo w układzie uplastyczniającym i głowicy wylączarskiej, a w efekcie najlepsza sprawność energetyczna wylączarki. Natomiast środek o rozkładzie egzotermicznym wydziela ciepło podczas procesu przetwórstwa, czego efektem było uzyskanie najmniejszego wzrostu wydajności wylączania i sprawności energetycznej. Nie stwierdzono jednak zauważalnych zmian w ilości mocy doprowadzanej do wylączarki podczas procesu prowadzonego przy tak modyfikowanym tworzywie przetwarzanym. Jednocześnie trzeba zauważyć, że rozważana ocena jest miarodajna w odniesieniu do stosowanych środków porujących tylko w ustalonym i stosowanym zakresie ich zawartości w. Przeprowadzone badania potwierdzają także konieczność przetwarzania tworzyw porowatych z dużymi prędkościami obrotowymi ślimaka, co wiąże się z dużym natężeniem przepływu tworzywa i dużą sprawnością energetyczną, których wartość można jeszcze zwiększyć poprzez dobór bardziej efektywnego środka porującego i jego zawartości masowej w tworzywie.

LITERATURA

1. Bociaga E., Palutkiewicz P.: *The influence of injection moulding parameters and blowing agent addition on selected properties, surface state and structure of HDPE parts*. Polymer Engineering and Science 2013, 53, 4, 679-704.
2. Rizvi S.J.A., Bhatnagar N.: *Microcellular PP vs. microcellular PP/MMT nanocomposites: A comparative study of their mechanical behavior*. International Polymer Processing, 2011, 26, 375-382.

3. Tor-Świątek A., Sikora R.: *Modyfikacja poli(chlorku winylu) mikrosferami w procesie wytłaczania mikroporującego*. Przetwórstwo Tworzyw 2011, 4, 142, 248-251.
 4. Garbacz T., Dulebova L., Krasinsky V.: *Effectiveness of cellular injection molding process*. Advances in Science and Technology 2013, 8, 18, 74-80
 5. Prociak A., Sterzynski T., Michałowski S., Andrzejewski J.: *Microwave Enhanced Foaming of Carbon Black Filled Polypropylene*. Cellular Polymers, 2011, 30, 201-214.
 6. Tor-Świątek A., Samujło B.: Use of thermovision research to analyze the thermal stability of microcellular extrusion process of poly(vinyl chloride). Maintenance and Reliability 2013, 15, 58-61.
 7. Klepka T., Garbacz T., Bociąga E.: *Some properties of extruded porous microducts*. Przemysł Chemiczny 2014, 6, 3, 907-910.
 8. Samujło, B., Sikora, J.W.: The impact of selected granulometric properties of poly(vinyl chloride) on the effectiveness of the extrusion process. Journal of Polymer Engineering 2013, 33, 1, 77-85.
 9. Sikora J.W., Samujło B., Dzwonkowski J.: Influence of a feed-opening section on the output and selected mechanical properties of a poly(vinyl chloride) extrudate. Advances in Polymer Technology 2014, 33, 1.
 10. Sikora R.: *Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 1992.
 11. Sikora R.: *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
- Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 19-07-2017
Data akceptacji publikacji do druku: 26-07-2017