



PRASA FACHOWA *70 lat*
SIGMA-NOT 
www.sigma-not.pl

przemysł chemiczny

8

sierpień
2019

ROK ZAŁOŻENIA
1917

PRCHAB 98(8) 1173-1344 (2019) PL ISSN 0033-2496, e-ISSN 2449-9951 cena brutto 53,00 zł (w tym 5% VAT)



Studies of extrusion of polyethylene with the addition of halloysite nanotubes. Part 1. Characteristics of the extrusion

Studium wytłaczania polietylenu z dodatkiem nanorurek haloizytowych. Cz. I. Charakterystyka procesu wytłaczania

DOI: 10.15199/62.2019.8.21

Low d. polyethylene doped with halloysite nanotubes (diam. 30–70 nm, length 1–3 μm) in concns. 2–6% by mass as well as without additives was extruded in a single-screw lab. extruder at 50 rpm or 150 rpm. The effect of chem. compn. of obtained materials and rotational speed of the screw on the parameters of the extrusion process was tested. The highest efficiency of the process (over 39.6%) was achieved during extrusion at screw speed of 150 rpm of non-doped polymer. The efficiency slightly decreased to 39.1% with the increase of the nanotube content. The smallest value of unit energy consumption was achieved for the extrusion (at 150 rpm) of a material contg. 2% halloysite. The screw rotating at 50 rpm resulted in a significant redn. in the efficiency of the process as well as in significant increase in the unit energy consumption for the tested materials.

Polietylen o małej gęstości napełniono haloizytowymi nanorurkami (średnica 30–70 nm, długość 1–3 μm) o udziale masowym 2–6% w stosunku do osnowy oraz bez dodatków, proces wytłaczania przeprowadzono w laboratoryjnej wytłaczarni jednoślismakowej przy prędkościach obrotowych ślimaka 50 rpm i 150 rpm. Zbadano wpływ składnika chemicznego i prędkości

obrotowej ślimaka na parametry wytłaczania. Największą wydajność procesu (ponad 39,6%) osiągnięto podczas wytłaczania polimeru nie-napełnionego przy prędkości ślimaka 150 rpm. Wydajność nieznacznie spadała (do 39,1%) wraz ze wzrostem zawartości nanorurek. Najmniejszą wartość jednostkowego zużycia energii osiągnięto przy wytłaczaniu (150 rpm) materiału zawierającego 2% haloizytu. Zastosowanie prędkości obrotowej ślimaka 50 rpm spowodowało znaczne zmniejszenie wydajności wytłaczania oraz znaczny wzrost jednostkowego zużycia energii dla badanych materiałów.

Zagadnienie efektywności procesu wytłaczania tworzyw polimerowych rozumiane jako prowadzenie procesu z największą wydajnością, najmniejszym jednostkowym zużyciem energii, największą sprawnością energetyczną oraz najlepszą homogenizacją cieplną i mechaniczną tworzywa nie jest do końca poznane, choć wiele aspektów jest już wyjaśnionych. Jednak, odnosząc je do kompozytów polimerowych, w szczególności napełnionych nanonapełniaczami, należy stwierdzić, że informacje na ten temat są jeszcze niewystarczające.

Wytłaczanie jest jedną z podstawowych metod produkcji w przetwórstwie materiałów polimerowych, a także w produkcji żywności



Mgr inż. Karolina GŁOGOWSKA w roku 2012 ukończyła studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej na kierunku inżynieria materiałowa. Pracuje na stanowisku asystenta w Katedrze Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych na Wydziale Mechanicznym tej uczelni. Specjalność – inżynieria mechaniczna.

* Autor do korespondencji:

Katedra Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36, 20-611 Lublin, tel.: (81) 538-42-23, fax: (81) 538-42-08, e-mail: k.glogowska@pollub.pl



Mgr inż. Łukasz MAJEWSKI w 2015 roku ukończył studia na kierunku inżynieria materiałowa na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej. Pracuje na stanowisku asystenta w Katedrze Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej. Specjalność – inżynieria mechaniczna.

i kosmetyków. Uzyskanie wysokiej sprawności energetycznej procesu wytłaczania jest jednym z głównych problemów, a wybór najbardziej efektywnych energetycznie warunków przetworstwa jest kluczem do obniżenia kosztów wytwarzania¹⁾. Zazwyczaj wytłaczarki zużywają energię w wyniku działania silnika napędowego, grzejników elektrycznych i wentylatorów chłodzących²⁻⁴⁾.

Współczesne wytłaczarki zaopatrzone są w strefę rowkowaną, która w istotny sposób zwiększa wydajność oraz ciśnienie tworzywa w układzie uplastyczniającym⁵⁻⁸⁾. Dążenie do uzyskania tworzyw i kompozytów polimerowych o lepszych właściwościach, jak również uwarunkowania prawne, są powodem dodawania do tworzyw różnych napelnaczy oraz dodatków. Wpływają one na właściwości przetworzonych tworzyw i kompozytów, wymuszając zmianę parametrów przetworstwa oraz geometrii układu uplastyczniającego wytłaczarki, celem zapewnienia właściwej efektywności procesu wytłaczania^{9, 10)}.

W ostatnich latach duże zainteresowanie naukowców i przemysłu budzą napelnicze w kształcie nanorurek¹¹⁾. Dzięki swojej strukturze i specyficznym właściwościom fizykochemicznym nanorurki mogą znaleźć zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, m.in. w przemyśle elektronicznym, elektrochemicznym i optycznym. Dotychczas przeprowadzono badania właściwości mechanicznych kompozytów z haloizytem, szczególnie modyfikowanym, na podstawie różnych polimerów¹¹⁻¹⁴⁾. Dla poprawienia i ujednorodnienia kompozycji wskazane jest zastosowanie wytłaczarek dwuślimakowych, które charakteryzują się określonymi właściwościami dyspersyjno-dystrybucyjnymi, zapewniającymi prawidłowe ujednorodnienie kompozycji.

Celem pracy było zbadanie wpływu zawartości nanonapelnacza w postaci haloizytowych nanorurek HNT (*halloysite nanotubes*) na efektywność procesu wytłaczania polietylenu o małej gęstości przetwarzanego przy różnych prędkościach obrotowych ślimaka.

Część doświadczalna

Materiały

Do badań użyto polietylenu o małej gęstości, o nazwie handlowej Malen E i symbolu FGAN 18-D003, wyprodukowanego w postaci granulatu przez firmę Basell Orlen Polyolefins. Jako nanonapelniacz zastosowano nanorurki haloizytowe (HNT) firmy Sigma-Aldrich w postaci proszku o średnicy ziarna 30–70 nm i długości 1–3 μm , powierzchni właściwej 64 m^2/g i gęstości 2530 kg/m^3 . Jako kompatybilizatora użyto polietylenu szczepionego bezwodnikiem maleinowym (PE-graft-MA) wyprodukowanego przez firmę Sigma-Aldrich.

Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze (rys. 1) składało się z wytłaczarki jednoślimakowej W-25 z układem uplastyczniającym wyposażonym w ślimak



Fig. 1. Technological line of extrusion: 1 – single screw extruder W-25, 2 – cooling bath, 3 – pull-out assembly

Rys. 1. Linia technologiczna ekstruzji: 1 – wytłaczarka jednoślimakowa, 2 – wanna chłodząca, 3 – odciąg taśmowy

specjalny (rys. 2) posiadający pięć elementów intensywnego mieszania oraz ścinania, o średnicy $D = 25$ mm i stosunku części roboczej $L/D = 25$, głowicy wytłaczarskiej z dyszą o przekroju prostokątnym $25,26 \times 1,05$ mm do wytwarzania taśmy. Do badań wybrano ślimak specjalny, ze względu na to, że miał on elementy intensywnego mieszania i ścinania, które sprawdziły się już w badaniach podobnych kompozycji^{15, 16)}.

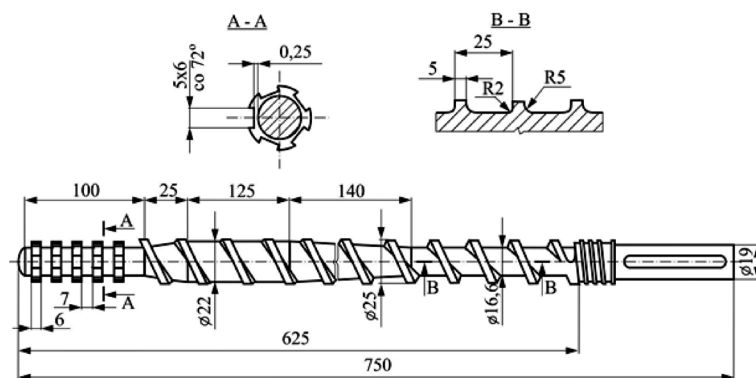


Fig. 2. Screw geometry used in the process

Rys. 2. Geometria ślimaka zastosowanego w procesie wytłaczania

Metodyka badań

Temperatury w poszczególnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego wynosiły 140°C, 160°C i 170°C, a temperatura głowicy wytłaczarskiej 170°C. Gdy strefy grzejne układu uplastyczniającego osiągnęły zadane wartości temperatury, uruchomiono silnik wytłaczarki. Badania przeprowadzono z zastosowaniem dwóch prędkości obrotowych ślimaka: 50 rpm i 150 rpm. Każdorazowo po zmianie warunków wytłaczania, a przed przystąpieniem do pomiarów, proces stabilizowano, co w stopniu zadowalającym w większości przypadków następowało po upływie ok. 15 min.

Na potrzeby badań efektywności wytłaczania polietylenu o małej gęstości modyfikowanego HNT opracowano zbiór ważniejszych czynników charakteryzujących proces badawczy. W badaniach przyjęto jako wynikowe czynniki badawcze oznaczane bezpośrednio: temperaturę poszczególnych stref układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej T , °C, oraz rozkład ciśnienia w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej p , bar. Pośrednio wyznaczono temperaturę wylotową T_w , °C, jednostkowe zużycie energii doprowadzanej do układu napędowego wytłaczarki E_{je} , J/g, oraz składową sprawności energetycznej wytłaczarki, pochodzącą z jej układu napędowego κ , %. Stanowisko doświadczalne, którego głównym elementem składowym była ta wytłaczarka, wyposażono w urządzenia i aparaturę umożliwiające pomiar niezbędnych wielkości.

Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań wpływu HNT i prędkości ślimaka na efektywność wytłaczania polietylenu na wybrane wielkości charakteryzujące proces wytłaczania przedstawiono w postaci graficznej na rys. 3 i 4 oraz w tabeli.

Przebieg zmian temperatury przetwarzanego polietylenu o małej gęstości modyfikowanego nanonapelniaczem w funkcji długości (L) układu uplastyczniającego w warunkach różnych prędkości obrotowych ślimaka przedstawiono na rys. 3. Temperatura badanego materiału wzrastała na całej długości układu uplastyczniającego wraz ze wzrostem zawartości HNT, osiągając maksimum w odległości 400 mm od otworu zasilającego.

Ciśnienie tworzywa w zależności od ilości nanonapelnacza i prędkości obrotowej ślimaka przedstawiono na rys. 4. Zaobserwowano tendencję do obniżania się wartości ciśnienia wraz ze wzrostem zawartości HNT. Nawet najmniejsza ilość nanonapelnacza dodanego do polimeru powodowała spadek ciśnienia na całej długości układu

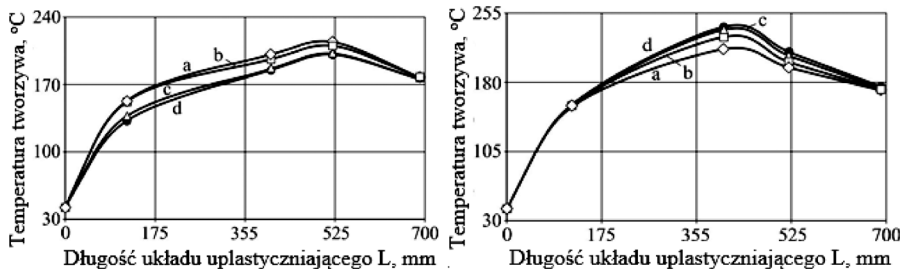


Fig. 3. Polymer temperature distribution in plasticization system and extrusion head: a) without nanofiller, b) with 2% of HNT, c) with 4% of HNT, d) with 6% of HNT; screw speeds 50 rpm (on the left) and 150 rpm

Rys. 3. Rozkład temperatury przetwarzanego tworzywa na długości układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej: a) bez nanonapełniacza, b) 2% mas. HNT, c) 4% mas. HNT, d) 6% mas. HNT, przy prędkości ślimaka 50 rpm (po lewej) i 150 rpm

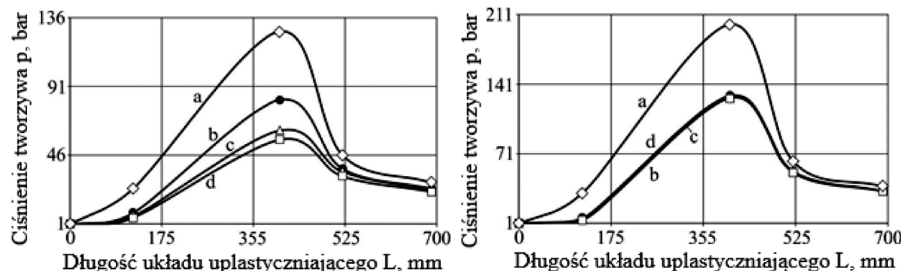


Fig. 4. Polymer pressure distribution in plasticization system and extrusion head: a) without nanofiller, b) with 2% of HNT, c) with 4% of HNT, d) with 6% of HNT; screw speeds 50 rpm (on the left) and 150 rpm

Rys. 4. Rozkład ciśnienia polimeru w układzie plastyfikującym i głowicy wylączarskiej: a) bez nanonapełniacza, b) 2% mas. HNT, c) 4% mas. HNT, d) 6% mas. HNT, przy prędkości ślimaka 50 rpm (po lewej) i 150 rpm

uplastyczniającego. Krzywa ciśnienia kompozytu w funkcji długości układu uplastyczniającego przy prędkości ślimaka 50 rpm była analogiczna do krzywej przy 150 rpm, ale wartości ciśnienia kompozytów były o kilkadziesiąt procent większe.

Wartości temperatury wylóczyny, jednostkowego zużycia energii doprowadzanej do układu napędowego wylóczarki oraz sprawności procesu wylóczania w zależności od udziału masowego HNT oraz prędkości obrotowych ślimaka przedstawiono w tabeli. Temperatura wylóczyny przy prędkości ślimaka 50 rpm była najniższa, ale dodanie nanonapełniacza w ilości 6% mas. spowodowało jej wzrost o kilkanaście procent. Zależność ta nie występowała przy prędkości obrotowej ślimaka 150 rpm, gdy po początkowym niewielkim spadku temperatury, spowodowanym dodatkem 2% mas. HNT, temperatura wylóczyny stabilizowała się na poziomie 193°C. Największe wartości jednostkowe

Table. Temperature of the extrudate (T_w), unit consumption of energy supplied to the driving system of the extruder (E_{jc}) and energy efficiency of the extruder (κ) depending on the proportion of mass HNT and rotational speed of the screw

Tabela. Temperatura wylóczyny (T_w), jednostkowe zużycie energii doprowadzanej do układu napędowego wylóczarki (E_{jc}) oraz sprawność procesu wylóczania (κ) w zależności od zawartości nanonapełniacza oraz prędkości obrotowej ślimaka

| Zawartość HNT, % mas. | Prędkość obrotowa ślimaka, rpm | T_w , °C | E_{jc} , J/g | κ , % |
|-----------------------|--------------------------------|------------|----------------|--------------|
| 0 | 50 | 160 | 2006,93 | 20,93 |
| 2 | | 167 | 2281,32 | 18,85 |
| 4 | | 176 | 2676,71 | 16,64 |
| 6 | | 179 | 2177,82 | 20,59 |
| 0 | 150 | 197 | 1197,25 | 39,67 |
| 2 | | 193 | 1185,62 | 39,63 |
| 4 | | 193 | 1189,65 | 39,51 |
| 6 | | 193 | 1198,40 | 39,09 |

go zużycia energii zarejestrowano przy mniejszej prędkości ślimaka, gdy udział nanonapełniacza wyniósł 4% mas. Wzrost prędkości obrotowej ślimaka powodował zmniejszenie jednostkowego zużycia energii. Przy większej prędkości ślimaka jednostkowe zużycie energii było prawie stałe, niezależnie od zawartości nanonapełniacza. Sprawność procesu wylóczania zwiększała się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka. Przy prędkości ślimaka 150 rpm sprawność procesu wylóczania nieznacznie spadała wraz ze wzrostem zawartości nanonapełniacza.

Wnioski

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań doświadczalnych wpływu zawartości HNT na efektywność procesu wylóczania polietylenu o małej gęstości przetwarzanego przy różnych prędkościach ślimaka, można sformułować następujące wnioski i ustalenia. Przy większej prędkości obrotowej ślimaka zaobserwowano wzrost temperatury przetwarzanego materiału na całej długości układu uplastyczniającego w porównaniu z wartościami uzyskanymi podczas wylóczania z mniejszą prędkością obrotową ślimaka. Ciśnienie tworzywa wzdłuż długości układu uplastyczniającego wzrastało przy większych prędkościach ślimaka, co zapewniało bardziej stabilne wylóczanie. Temperatura wylóczyny po opuszczeniu głowicy wylóczarskiej była większa przy większej prędkości obrotowej ślimaka i była niezależna od zawartości nanonapełniacza. Najwyższą sprawność procesu wylóczania osiągnięto przy prędkości ślimaka wynoszącej 150 rpm dla materiału niezawierającego nanonapełniacza. Sprawność procesu wylóczania nieznacznie się zmniejszyła wraz ze wzrostem zawartości HNT. Najmniejszą wartość jednostkowego zużycia energii odnotowano przy wylóczaniu z prędkością obrotową ślimaka 150 rpm w materiale zawierającym 2% mas. nanonapełniacza. Zastosowanie prędkości obrotowej ślimaka 50 rpm spowodowało zmniejszenie sprawności procesu wylóczania oraz wzrost jednostkowego zużycia energii dla badanych materiałów kompozytowych.

Podziękowania



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 734205 – H2020-MSCA-RISE-2016.

Otrzymano: 17-06-2019

LITERATURA

- [1] C. Abeykoon, i in., *Appl. Energy* 2014, **136**, 726.
- [2] C. Abeykoon, i in., [w:] *Life system modeling and intelligent computing*, Springer, Berlin, Heidelberg 2010, t. 9.
- [3] J.W. Sikora, T. Kapuśniak, *Polimery* 2005, **50**, nr 10, 748.
- [4] J.W. Sikora, *Polimery* 1999, **44**, nr 3, 190.
- [5] J.A. Alfaro, i in., *Int. Polym. Proc.* 2015, **30**, nr 2, 284.
- [6] J.W. Sikora, *Polimery* 1998, **43**, nr 9, 548.
- [7] J. Kettemann, i in., *Int. Polym. Proc.* 2019, **34**, nr 1, 143.
- [8] C. Rauwendaal, J. Sikora, *Int. Polym. Proc.* 2000, **15**, nr 2, 133.
- [9] J. Vera-Soroché, i in., *Appl. Therm. Eng.* 2013, **53**, nr 2, 405.
- [10] J.W. Sikora, B. Samujto, J. Dzwonkowski, *Adv. Polym. Technol.* 2014, **33**, nr 1, 21388.
- [11] K. Kelar, K. Mencil, J. Olejniczak, *Arch. Technologii Maszyn Automatykacji* 2011, **31**, nr 1, 103.
- [12] K. Kelar, K. Mencil, J. Olejniczak, *Arch. Technologii Maszyn Automatykacji* 2011, **31**, nr 3, 69.
- [13] K. Szpilska, K. Czaja, S. Kudła, *Polimery* 2015, **60**, nr 11-12, 673.
- [14] A. Szczygielska, J. Kijęński, *Kompozyty* 2010, **10**, nr 2, 181.
- [15] K. Głogowska, J. Sikora, J. Blase, *Tehnicky Vjesnik-Technical Gazette* 2018, **25**, 6, 1581.
- [16] K. Głogowska, J. Sikora, B. Duleba, *J. Polym. Eng.* 2016, **36**, nr 7, 705.