

Tomasz RYDZKOWSKI, Iwona MICHALSKA-POŻOGA

e-mail: tomasz.rydzkowski@tu.koszalin.pl

Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Koszalin

Wytłaczarka ślimakowo-tarczowa; Wpływ szczeliny tarczowej na stopień ujednorodnienia i wybrane właściwości mechaniczne mieszaniny LDPE

Wstęp

Recykling materiałów polimerowych jest jednym z bardzo szeroko badanych obecnie tematów. W zagadnieniu tym wyróżnić można wiele różnych, ważnych aspektów. Jednym z bardzo istotnych jest poszukiwanie zastosowań dla materiałów uzyskanych w wyniku recyklingu. Aby jednak uzyskać materiały o zadowalających właściwościach należy je efektywnie przetworzyć. W wyniku recyklingu tworzyw uzyskuje się wytwory o obniżonych właściwościach. Rozwiązaniem tego problemu jest domieszkowanie pierwotnych tworzyw recyklatami. Regranulat pełni wówczas zwykle funkcję taniego wypełniacza, który w zależności od udziału wywiera wpływ na ostateczne właściwości uzyskiwanych produktów [1].

Kolejnym zagadnieniem jest wpływ warunków przetwórstwa, dla którego należy dobrać właściwą technikę i optymalne warunki. Jednym z urządzeń, które może być zastosowane do recyklingu tworzyw, jak również zanieczyszczonych mieszanin [2], jest wytłaczarka ślimakowo-tarczowa zbudowana w Politechnice Koszalińskiej. Konstrukcja jest wynikiem obliczeń optymalizacyjnych i symulacji komputerowych, na podstawie których zaprojektowano układ uplastyczniający o oryginalnych cechach geometrycznych [3].

Przeprowadzone badania wykazały, że zmiana szerokości szczeliny wpływa na ilość ciepła generowanego podczas uplastyczniania i na stopień zmieszania. Pozwala również uzyskać lepsze właściwości wytworu niż skutek klasycznego wytłaczania ślimakowego. Szczegółowe wyniki publikowane były w licznych opracowaniach [4–8].

Celem artykułu jest określenie właściwości wyciśniętych mieszanin regranulatu LDPE dla różnych udziałów pierwotnego polietyleni małej gęstości.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono stosując handlowy czarny regranulat polietyleni LD oraz pierwotny LDPE o handlowej nazwie MALEN E wyprodukowany przez *Basell Polyolefins*. Przed przystąpieniem do prób wytłaczania w mieszalniku bębnowym przygotowano odpowiednie ilości mieszanin tworzywa z masowym udziałem 2,5 (U2,5); 5 (U5); 10 (U10); 30 (U30); 50 (U50); 80% (U80) regranulatu. Wytłoczono również pierwotny LDPE oraz czarny recyklat bez dodatków.

Zgodnie z planem badań i możliwościami badanej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej nastawiano szczelinę 0,3; 1 i 3 mm. W obu przypadkach stosowano tą samą głowicę wytłaczarską z kołową dyszą, uzyskując wyciśniętą w postaci pręta o średnicy 15 mm. Celem porównania uzyskiwanych właściwości, identyczne mieszaniny wyciśnięto przy użyciu klasycznej, jednoślismakowej wytłaczarki T-32. Dla klasycznej wytłaczarki ustawiano na poszczególnych strefach temperaturę zalecaną dla polietyleni LD (130, 160, 150, głowica 140°C), dla wytłaczarki ślimakowo-tarczowej ustawiono temperaturę w strefie tarczowej 160, a na głowicy 140°C, tak jak w przypadku wytłaczarki klasycznej. Po uruchomieniu wytłaczarki, do leja zasypowego podawano tworzywo. Wyciśnięta po opuszczeniu głowicy wytłaczarskiej była wychładzana dwukrotnie powietrzem.

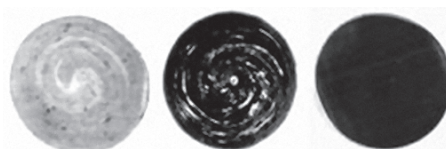
Z wyciśniętych pobrano próbki. Z części z nich wyprasowano grubą folię i następnie wycięto z niej próbki do badań właściwości mechanicznych (twardość, udarność). Oznaczenie udarności przeprowadzono wzorując się na normie PN-EN ISO 179-1:2002. W badaniu udarności zastosowano młot *Charpy'ego* typ 5113 firmy *ZWICK Roell GmbH & Co*. Dla wytłaczarki ślimakowo-tarczowej przebadano 168 próbek, natomiast dla klasycznej wytłaczarki ślimakowej przebadano 56 próbek.

Łącznie badania przeprowadzono na 224 próbkach. Badania twardości wykonano zgodnie z normą ISO 868. Do badań twardości próbek użyty został twardościomierz ręczny ze wskazówką bierną *ShoreD* firmy *Zwick Roell GmbH & Co*. Dla wytłaczarki ślimakowo-tarczowej przebadano 21 próbek, na których wykonano 315 pomiarów, natomiast dla klasycznej wytłaczarki ślimakowej przebadano 7 próbek, na których wykonano 105 pomiarów. Łącznie badaniu poddano 28 próbek, na których wykonano 420 pomiarów.

Analiza wyników badań

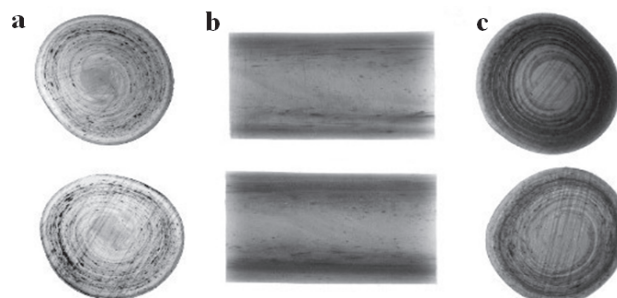
Badania jednorodności

Próbki pocięto na cienkie plastry. Przekroje poprzeczne uzyskano poprzez frezowanie wyciśniętych do grubości około 1 mm i następnie polerowanie. Na rys. 1 przedstawiono fotografie przekrojów uzyskanych w wyniku wytłaczania ślimakowo-tarczowego zawierające 2,5, 30 i 50% czarnego recyklatu. Dokładniejszym badaniom poddano mieszaniny zawierające 5 i 10% czarnego recyklatu, dzięki małej zawartości czarnego barwnika możliwe było obserwowanie cienkich przekrojów pod mikroskopem optycznym, w świetle przechodzącym. Obserwacje te umożliwiły określenie stopnia homogenizacji, dyspersji i ułożenia tworzywa na przekroju wyciśniętych.



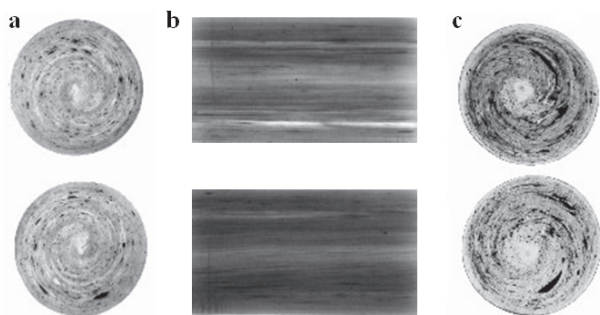
Rys. 1. Przekroje wyciśnięte z wytłaczarki ślimakowo-tarczowej; od lewej: 2,5; 30 i 50% recyklatu

Na rys. 2 widoczne są fotografie przekrojów uzyskanych w wyniku klasycznego wytłaczania jednoślismakowego.



Rys. 2. Przekroje wyciśnięte z klasycznej wytłaczarki ślimakowej: a) U5, przekrój poprzeczny, b) U5, przekrój wzdłużny, c) U10, poprzeczny

Na podstawie analizy obrazów powyższych przekrojów (Rys. 1–3) stwierdzić można, że uplastycznianie w badanych urządzeniach daje odmienne rezultaty wymieszania. W wyniku wytłaczania klasycznego powstaje wyciśnięta o rdzeniu składającym się głównie z pierwotnego tworzywa. Recyklatu jest niewiele, ale jest bardzo dobrze ujednorodniony na całym przekroju wyciśniętych. Większość recyklatu gromadzi się w postaci cienkich spiralnych warstw w zewnętrznej części wyciśniętych. Widoczne jest to na przekrojach wzdłużnych. Wytłaczanie w układzie ślimakowo-tarczowym wywołuje inny obraz przekroju. Czarny regra-



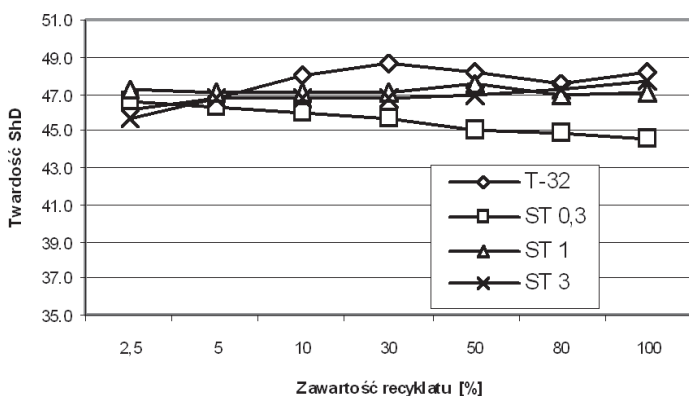
Rys. 3. Przekroje wytłoczyny uzyskanej z wylączarki ślimakowo-tarczowej, szczelina 3 mm: a) U5, przekrój poprzeczny, b) U5, przekrój wzdłużny, c) U10, poprzeczny

nulat jest w rozproszony w całej masie tworzywa, ale gromadzi się również w postaci czarnych skupisk rozmieszczonych na całej powierzchni przekrojów wytłoczyn. Również na przekrojach wzdłużnych widoczny jest w postaci licznych długich, cienkich pasm. Analizując wszystkie badane przekroje stwierdzono, że w szczelinie międzytarczowej ujednorodnienie tworzywa z regranulatem przebiega znacznie lepiej niż w kanale śrubowym ślimaka wylączarki jednoślismakowej.

Odmienne sposoby homogenizacji powinny również wywołać różne właściwości wytłoczyny – wytworu. Celem potwierdzenia tej tezy przeprowadzono badania właściwości mechanicznych, w tym udarności i twardości.

Badania właściwości mechanicznych

Na rys. 4 przedstawiono twardość Shore'a w skali D wytworów uzyskanych z różnym udziałem recyklatu.

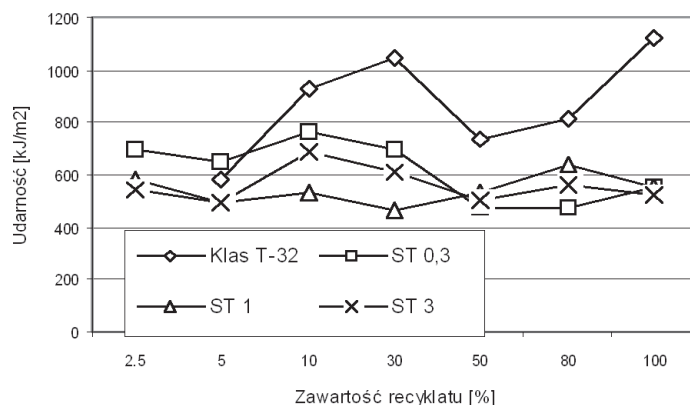


Rys. 4. Zależność twardości wytłoczyny od zawartości regranulatu

Na podstawie analizy powyższych danych można stwierdzić, że w przypadku klasycznego wylączania ślimakowego wraz z zawartością recyklatu wzrasta twardość wytłoczyny od 46,1°ShD o 4,5%. W przypadku wylączania w układzie ślimakowo-tarczowym wyniki są zależne od szerokości szczeliny. Dla najmniejszej badanej szerokości szczeliny (0,3 mm) twardość wytłoczyny wraz ze wzrostem zawartości recyklatu spada o 4,5%, do 44,5°ShD, może być to spowodowane wysoką prędkością ścinania. Twardość wytłoczyny uzyskanej przy szczelinie równej 1 mm jest niezależna od zawartości recyklatu i utrzymuje się na poziomie 47°ShD, jest zatem nieznacznie wyższa od twardości uzyskanej przy szczelinie 0,3 i niewiele niższa od twardości uzyskanej w wyniku klasycznego wylączania. Ze zwiększeniem zawartości recyklatu nieznacznie rośnie twardość wytłoczyny uzyskanej w układzie ślimakowo-tarczowym ze szczeliną równą 3 mm, przy zawartości 2,5% recyklatu średnia twardość wynosi 45,7°ShD, 100% regranulatu charakteryzuje się twardością 47,7°ShD.

Na rys. 5 przedstawiono, wyniki uzyskane podczas badania udarności wytłoczyny uzyskanej z różnym udziałem recyklatu.

W funkcji zawartości recyklatu niemal dwukrotnie wzrasta udarność tworzywa przetwarzanego w klasycznej wylączarce ślimakowej, tworzywo homogenizowane w układzie ślimakowo-tarczowym przy szcze-



Rys. 5. Wykres udarności w funkcji zawartości recyklatu dla wylączarki klasycznej i ślimakowo-tarczowej z trzema nastawami szczeliny

linie równej 0,3 mm wykazuje, wraz ze zwiększeniem udziału recyklatu, lekką tendencję spadkową udarności. Na uwagę zasługują krzywe udarności wytłoczyny uzyskanej przy szczelinie czołowej równej 1 i 3 mm. Udarność w tych przypadkach utrzymuje się na zbliżonym poziomie. Uzyskiwane właściwości zmieniają się bardzo nieznacznie lub są zbliżone do uzyskiwanych w wyniku klasycznego wylączania ślimakowego.

Wnioski

Analiza wyników badań wykazała, że:

1. Wytłoczyna uzyskana w rezultacie wylączania ślimakowo-tarczowego jest bardziej jednorodna, uzyskano prawie jednorodną masę na całym przekroju wytłoczyny.
2. Duży wymiar szczeliny strefy tarczowej powoduje wystąpienie małych prędkości ścinania, natomiast mały wymiar szczeliny powoduje wystąpienie dużych prędkości ścinania, dzięki którym można uzyskać zjawisko mastykacji oraz wysoką jednorodność mieszanin tworzyw. Istotne jest to zwłaszcza przy wylączaniu tworzyw pochodzących z recyklingu.
3. Uzyskiwane właściwości wytworów są zależne od wymiaru szczeliny czołowej. Możliwe jest uzyskanie efektów zbliżonych do klasycznego wylączania, jak również możliwe jest osiągnięcie wyższych lub niższych parametrów twardości wytłoczyny.

LITERATURA

- [1] T. Rydzkowski: Wylączanie mieszanin tworzyw z recyklingu – możliwości i problemy. X Profesorskie Warsztaty Naukowe nt. przetwórstwo tworzyw polimerowych, Lublin – Kazimierz Dolny 2005.
- [2] T. Rydzkowski: Inż. Ap. Chem. 45, nr 3, 70 (2006).
- [3] T. Rydzkowski, G. Radomski: Plastic, Rubber and Composites: Macromolecular Engineering. 37, nr 8 (2008).
- [4] T. Rydzkowski, J. Diakun: Autothermal screw – disc extruder for virgin and recycled polymers. Global Symposium on Recycling Waste Treatment and Clean Technology REWAS2004, Spain.
- [5] T. Rydzkowski, I. Michalska-Požoga: Wpływ wielokrotnego wylączania na właściwości konstrukcyjne PE. Praca zbiorowa pod red. J. Jurgi: Nowe kierunki modyfikacji i zastosowań tworzyw sztucznych. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
- [6] T. Rydzkowski, I. Michalska-Požoga: Zmiana właściwości LDPE w wyniku wielokrotnego wylączania na podstawie badań DSC. (w pracy zbiorowej pod redakcją J. Koszkuła i E. Bociągi: Materiały polimerowe i ich przetwórstwo). Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
- [7] T. Rydzkowski, I. Michalska-Požoga, M. Macko, T. Karasiewicz i in.: Tensile properties and melt viscosity of virgin LD-PE mixtures with LD-PE recyclate processed with screw-disc extruder. 5. Środkowoeuropejska Konferencja „Recykling i Odzysk Materiałów Polimerowych”, Nauka – Przemysł. Wrocław 2006.
- [8] I. Michalska-Požoga, T. Rydzkowski: Selected rheological and mechanical properties of PE recyclate mixture with different concentration of original LD-PE obtained by screw-disc extrusion. VII Międzynarodowa Konferencja APT'07 Advances in Plastics Technology. Katowice 2007.