

Dorota CZARNECKA-KOMOROWSKA

e-mail: dorota.czarnaeka-komorowska@put.poznan.pl

Zakład Tworzyw Sztucznych, Instytut Technologii Materiałów, Politechnika Poznańska, Poznań

Technologia pulweryzacji i właściwości proszków otrzymanych z odpadów polietylenowych**Wstęp**

Rozdrabnianie odpadów z tworzyw sztucznych jest jednym z etapów przygotowania surowca do recyklingu materiałowego. Wybór odpowiedniej techniki rozdrabniania istotnie wpływa na jakość surowca wyjściowego, a to z kolei decyduje o dalszych możliwościach jego zastosowań [Flizikowski i in., 2012]. Do rozdrabniania polimerów stosowane są rozdrabniacze bijakowe, nożowe, wielokrawędziowe lub tarczowo-walcowe [Macko i Tyszczyk, 2013]. W procesie pulweryzacji (proszkowania) tworzyw sztucznych najczęściej stosowane są urządzenia rozdrabniające wykorzystujące zestaw tarcz. Proszek uzyskiwany jest poprzez proces rozłupywania i rozcierania tworzywa. Zespół roboczy stanowią zazwyczaj dwie tarcze, z których jedna jest nieruchoma, druga zaś obraca się z określoną prędkością obrotową.

Jedną z technik rozdrabniania jest metoda wytłaczania ścinającego w stanie stałym SSSP (*Solid-State Shear Pulverization*) [Khait i in., 2001], która polega na uplastycznianiu tworzywa w kanale ślimaka wytłaczarki, a następnie jego schłodzeniu w warunkach przepływu ścinającego [Młodzianowska i Steller, 2011]. Procesy te ze względu na swoją złożoność do tej pory nie zostały do końca zbadane i cały czas prowadzone są prace nad ich wyjaśnieniem. Według zrealizowanych do tej pory badań stwierdzono, iż rozpad tworzywa występuje w wyniku działania trzech czynników: temperatury, szybkości ścinania i ciśnienia [Ivanov, 2000].

Pulweryzacja techniką SSSP według jednej z hipotez jest wynikiem uwalniania energii sprężystej gromadzonej w materiale pod wpływem wysokiego ciśnienia i naprężeń ścinających, przy czym istotny wpływ na ten proces wywiera temperatura. Gwałtowne uwalnianie się energii prowadzi do powstania mikropęknięć, a w konsekwencji do rozpadu tworzywa na proszek w całej masie [Steller i in., 2012]. Proces rozdrabniania nazywany inaczej pulweryzacją charakteryzuje się większą wydajnością, energooszczędnością w porównaniu z innymi metodami rozdrabniania tworzyw, a jakość produktu wyjściowego (proszku), jest znacznie wyższa niż w przypadku innych metod rozdrabniania [Rusiecki i Steller, 2002].

Proces pulweryzacji techniką rozdrabniania w układzie tarczowo-walcowym jest powszechnie stosowany do masowej produkcji proszków z odpadów polimerowych, stąd też stał się przedmiotem prezentowanych badań. Największe zapotrzebowanie na proszek z recyklatów wykazują firmy z branży odlewania rotacyjnego, które wymagają surowa o zdefiniowanych właściwościach.

Celem pracy jest ocena wpływu parametrów pulweryzacji na wielkość i kształt ziarna proszku otrzymanego z odpadów polietylenowych.

Badania doświadczalne

Materiały. Przedmiotem badań były poużytkowe odpady z polietyleny, z których w procesie pulweryzacji wytworzono proszki. Badano następujące proszki: P0 – proszek pierwotny, rP1 – proszek z recyklatu (natężenie prądu 47 A), rP2 – proszek z recyklatu (natężenie prądu 62 A), rP3 – proszek z recyklatu (natężenie prądu 77 A), rP4 – proszek z recyklatu (natężenie prądu 92 A). Masa każdej próbki wynosiła 40 kg.

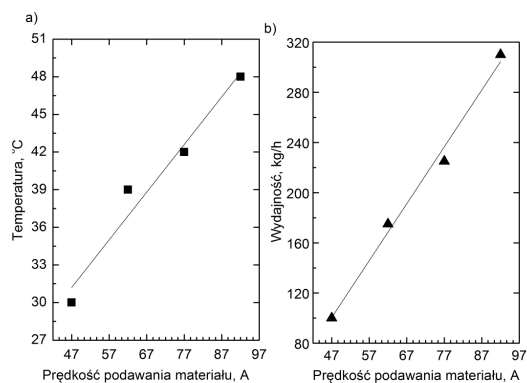
Aparatura. Recyklaty rozdrobniono przy użyciu pulweryzatora firmy *Pallmann* z wykorzystaniem młyna tarczowego o mocy 75 kW. Każda z tarcz młyna posiadała 60 sztuk ryflowanych pasków. Prędkość obrotowa tarczy była stała i wynosiła 2960 min⁻¹ [Pallmann, 2015].

Metodyka. W celu określenia optymalnych parametrów rozdrabniania zastosowano zmienną prędkość podawania materiału, której wielkość regulowano natężeniem przepływu prądu w zakresie od 47 do 92 A. Temperaturę mierzono na króćcu wychodzącym z młyna tarczowego przy pomocy czujnika temperatury.

Cechy uzyskanych proszków porównano z pierwotnym proszkiem polietylenowym (P0), typu *Egyeuoptene MD 3804U*, o wielkości ziarna 0,28 mm, stosowanym do odlewania rotacyjnego. Ocenę jakości proszków uzyskanych w funkcji zmiennych parametrów procesu przeprowadzono na podstawie analizy sitowej i obserwacji mikroskopowych (*MSt130* prod. *PZO*).

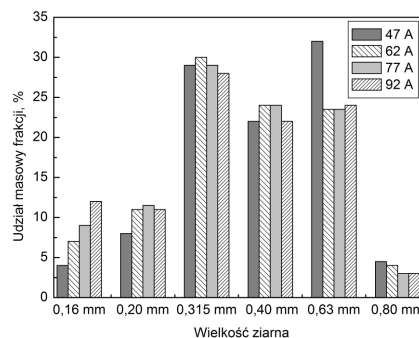
Wyniki i dyskusja

Na rys. 1 przedstawiono wpływ prędkości podawania materiału do układu rozdrabniania urządzenia na temperaturę proszku (a) i wydajność procesu (b).



Rys. 1. Wpływu prędkości podawania materiału na temperaturę proszku (a) i wydajność procesu pulweryzacji (b)

Na rys. 1a widoczny jest wyraźny wzrost temperatury proszku wraz ze wzrostem prędkości podawania materiału do młyna tarczowego. Dla najniższej prędkości podawania, wynoszącej 47 A, początkowa temperatura surowca (rP1) wynosiła 30°C. Dla najwyższej prędkości podawania, wynoszącej 92 A, temperatura proszku (rP4) wzrosła do około 50°C. Zwiększona ilość surowca w komorze powoduje wzrost tarcia pomiędzy materiałem, a powierzchnią tarcz tnących, w wyniku czego następuje duży wzrost temperatury proszku. Jak wynika z rys. 1b wzrost prędkości podawania materiału do wartości 92 A, powoduje ponad 200% wzrost wydajności procesu (z 100 kg/h dla proszku rP1 do 320 kg/h dla proszku rP4).

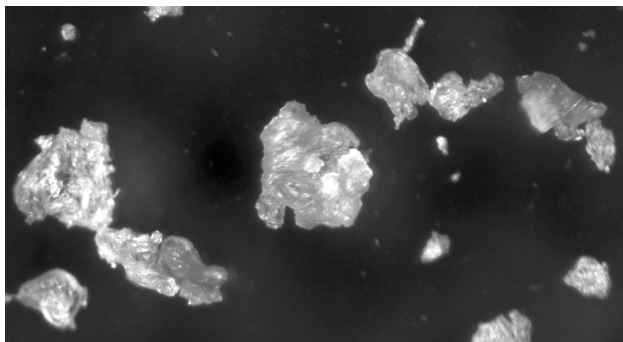


Rys. 2. Wyniki analizy sitowej sproszkowanego polietyleny

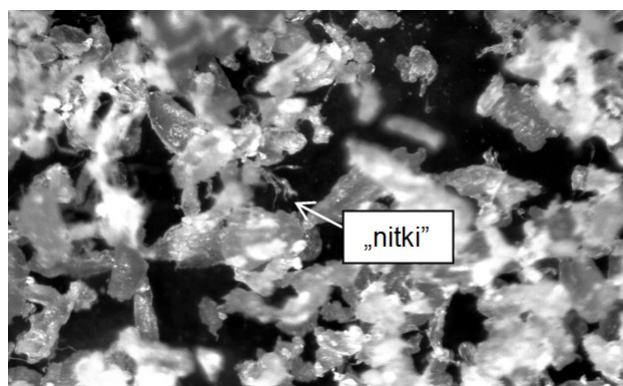
Na rys. 2 pokazano wyniki analizy sitowej proszków rP1-rP4, otrzymanych w procesie pulweryzacji, prowadzonym z różną szybkością podawania surowca.

Uzyskane wyniki wskazują, że otrzymane proszki charakteryzują się dużym rozrzutem wielkości ziaren od 0,16 mm do 0,8 mm. Największy udział procentowy miały frakcje od 0,315 mm do 0,63 mm. Udział masowy najmniejszej frakcji o zakresie 0,16±0,20 mm wyniósł 10%, a największej – poniżej 5%. Z przeprowadzonej analizy wynika, że mniejsza prędkość podawania surowca sprzyja powstawaniu proszków o większej średniej wielkości ziarna (ok. 0,63 mm). Stwierdzono, że im większa prędkość podawania surowca, tym mniejsza wielkość ziarna, około 0,315 mm.

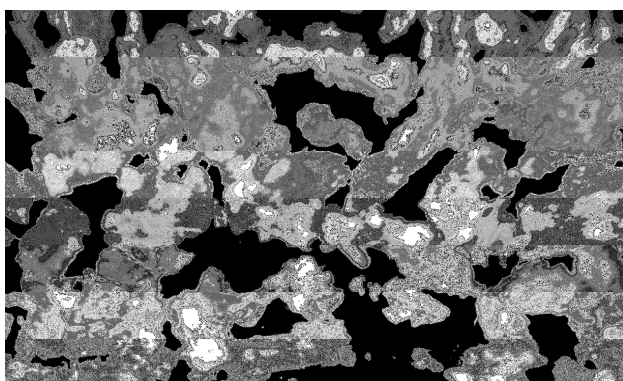
Aby porównać ziarna rPE, uzyskane dla zmiennych parametrów pulweryzacji z proszkiem oryginalnym wykorzystano analizę mikroskopową. Na rys. 3. przedstawiono strukturę proszku pierwotnego. Natomiast na rys. 4 i 5 pokazano kształt i wielkość ziaren proszków otrzymanych w procesie pulweryzacji odpowiednio dla najwyższej (92A) i najniższej (47A) prędkości podawania materiału do młyna. Przy użyciu mikroskopu stereoskopowo wyposażonego w kamerę do analizy obrazu obliczono średnią wielkość ziaren proszków.



Rys. 3. Struktura pierwotnego proszku polietylenowego (P0) pow. 25x



Rys. 4. Struktura proszku polietylenowego (rP1) otrzymanego z najmniejszą szybkością podawania materiału 47 A, pow. 25x



Rys. 5. Struktura proszku polietylenowego (rP4) otrzymanego z największą szybkością podawania materiału 97A, pow. 25x

Na podstawie obserwacji mikroskopowych poszczególnych proszków zaobserwowano istotne różnice w wielkości i kształcie ziaren proszku (rP4) dla największej i najmniejszej prędkości podawania materiału (rP1), które potwierdzają wyniki analizy granulometrycznej. Z obserwacji mikroskopowych wynika, że temperatura procesu pulweryzacji ma także istotny wpływ na wielkość i kształt cząstek proszków, np. dla proszku pierwotnego (P0) wielkość ziarna wynosiła ok. 0,29 mm, dla proszku rP1 – 0,42 mm; a dla proszku rP4 – 0,30 mm. Wyższa temperatura (ok. 50°C) powoduje częściowe uplastycznienie ziarna, co ma duży wpływ na zmniejszenie tendencji do ich rozrywania i strzępienia. Prowadzenie procesu proszkowania w niższej temperaturze (30-40°C) powoduje powstawanie proszków z *nitkami* i *ogonkami*, co wyraźnie widać na rys. 4 (dla proszku rP1). Poprawę kształtu cząstek proszków można uzyskać prowadząc proces pulweryzacji w wyższej temperaturze, gdzie cząstki uzyskują gładszą powierzchnię, pozbawioną ogonków lub z mniejszą liczbą ogonków (Rys. 5). Podobne zjawiska opisano w pracy [Crawford, 1996]. W technologii odlewania rotacyjnego ogonki i nitki są przyczyną powstawania pęcherzyków powietrza w trakcie procesu, co powoduje pogorszenie jakości powierzchni i właściwości formownego wyrobu [Czarnecka-Komorowska i Nadolny, 2012]

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że parametry procesu pulweryzacji istotnie wpływają na właściwości uzyskiwanych proszków i wydajność procesu. Zwiększenie prędkości podawania materiału do młyna tarczowego powoduje wzrost temperatury proszku i wzrost wydajności procesu pulweryzacji, przy mniejszym zapotrzebowaniu na energię pulweryzatora.

Najwyższą efektywność procesu pulweryzacji uzyskano dla najwyższej szybkości podawania surowca, czyli 97 A. W warunkach tych uzyskano proszki o odpowiedniej jakości, czyli wielkości (ok. 0,4 mm), kształcie oraz gładkości powierzchni. Do podobnych wniosków doszli Steller i in. [2012], którzy stwierdzili, że wprowadzenie kredy do polimeru ułatwia proces pulweryzacji, co wyraża się lepszym rozdrobnieniem proszku, przy równoczesnym spadku poboru mocy przez silnik napędowy wylączarki.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wraz ze wzrostem temperatury procesu pulweryzacji maleje średnia wielkość ziarna. Spośród otrzymanych proszków największą wielkością ziarna (0,408 mm) charakteryzował się proszek (rP1), a najmniejszą (0,332 mm) – proszek (rP4). Z obserwacji mikroskopowych wynika, że poprawa kształtu ziaren proszków następuje w wyższej temperaturze (gładsza powierzchnia i mniejsza liczba nitek).

LITERATURA

- Crawford R.J. (Ed.), (1996). *Rotational moulding of plastics*. Research Studies Press Ltd., Taunton, Somerset, England
- Czarnecka-Komorowska D., Nadolny K., (2012). Ocena właściwości mechanicznych i reologicznych recyklatów polietylenowych uzyskanych w procesie pulweryzacji. *Przetwórstwo Tworzyw*, 6, 564-567
- Flizikowski J., Bieliński K., Nowicki M. (2012). Research and development of plastic wastes grinding in recycling. *Inż. Ap. Chem.* 51(5), 216-218
- Ivanov G.K. (2000). Some aspects of a plastics pulverization technology by extrusion. *Polymer Eng. Sci.*, 40(3), 676-689. DOI: 10.1002/pen.11198
- Macko M., Tyszczyk K., (2013). Badania użyteczności rozdrabniacza wielokrawędziowego i żyłkowego. *Inż. Ap. Chem.* 52(2), 47-48
- Khait K., Carr S.H., Mack M.H. (2001). *Solid-state shear pulverization*. Tech. Publ. Co. Inc., Lancaster, USA
- Młodzianowska E., Steller R., (2011). Pulweryzacja wybranych mieszanin tworzyw termoplastycznych. *Polimery*, 56(4), 317-323
- Pallmann, (2015). *Pulverizing of plastics* (06.2016) http://www.pallmann.eu/language/upload/pdf/K610.1_EN_Pulverizing.pdf
- Rusiecki T., R. Steller R., (2002). Pulweryzacja materiałów polimerowych metodą wylączania ścinającego w stanie stałym. *Polimery*, 47(3), 175
- Steller, R., Skomro, A., Meissner W., Kędziora G., (2012). Pulweryzacja w wylączarce odpadowego PE-LD napelnionego kredą. *Przetwórstwo Tworzyw*, 6, 653-656