

Joachim ZIMNIAK, Wojciech ŚLIWA

e-mail: zimniak@utp.edu.pl

Instytut Technik Wytwarzania, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Rozdrabnianie elastomerów z wykorzystaniem strefy ścinająco-mieszającej układu uplastyczniającego

Wprowadzenie i cel pracy

Światowa produkcja tworzyw ma tendencje rosnące i osiągnęła wartość 260 mln ton [1]. Powoduje to, iż sumaryczna masa zasobów tworzyw wtórnych (zwanymi potocznie odpadami) także proporcjonalnie rośnie. Wiele ośrodków naukowych podejmuje prace naukowo-badawcze oraz wdrożeniowe mające na celu właściwe wykorzystanie i zagospodarowanie zasobów wtórnych poprzez recykling materiałowy, surowcowy i in. (w tym tworzyw polimerowych i elastomerów usieciowanych) [2–5]. W ramach recyklingu materiałowego oraz technologii materiałów kompozytowych stawiane są wysokie wymagania w obszarze rozwoju i doskonalenia technik przygotowania składników kompozytów do dalszego przetwórstwa metodą wytłaczania czy prasowania [6, 7].

Rozdrabnianie występuje bardzo często obok separacji czy mycia jako jeden z głównych procesów przygotowawczych (składowych), towarzyszących konstytuowaniu tworzyw kompozytowych. Oznacza to, że jest bardzo ważnym i ciągle aktualnym problemem do rozwiązania, tak z punktu widzenia technologiczno-konstrukcyjnego, ekonomicznego jak i ochrony środowiska [8, 9]. Przygotowanie składników tworzyw kompozytowych, poprzez rozdrabnianie, jest uwarunkowane na ogół: oczekiwanym stopniem rozdrobnienia, właściwym rozkładem ziarnowym, pożądaną morfologią elementarnej cząstki i innymi [4, 5, 8].

Wymienione wymagania w odniesieniu do wtórnych materiałów polimerowych oraz elastomerów usieciowanych spełnia mechaniczne rozdrabnianie realizowane poprzez cięcie nożowe obrotowe (w tym cięcia *quasi-styczne*), które jest wystarczająco dobrze poznane i szeroko opisane w literaturze zarówno krajowej jak i zagranicznej [8–14]. Innym sposobem rozdrabniania stosowanym do wtórnych tworzyw polimerowych jest rozdrabnianie wielotarazowe z wykorzystaniem tzw. *cięcia quasi-technologicznego*, które w swoich pracach bardzo wnikliwie opisał J. Flizikowski [12, 13].

W ostatnim okresie można zaobserwować poszukiwania badaczy w zakresie niekonwencjonalnych sposobów rozdrabniania, zwłaszcza z wykorzystaniem zmodyfikowanego układu uplastyczniającego wytłaczarek [14–17]. W niniejszej pracy skupiono się na sposobie rozdrabniania, w którym wykorzystuje się zjawisko ścinania podczas wytłaczania w stanie stałym [14].

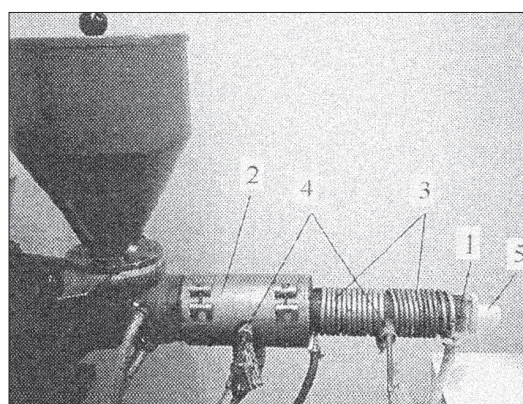
Celem pracy jest zaprezentowanie rezultatów badań w zakresie rozdrabniania tworzyw termoplastycznych i elastomerów usieciowanych realizowanych niekonwencjonalnym sposobem rozdrabniania, tj. wykorzystaniem strefy ścinająco-mieszającej układu uplastyczniającego.

Przegląd i dyskusja badań

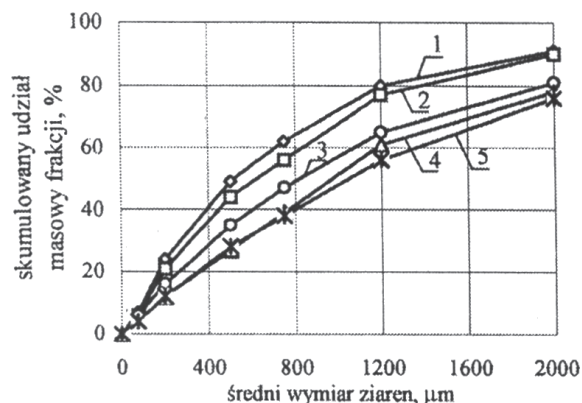
Do fizycznej modyfikacji tworzyw stosuje się coraz częściej składniki dodatkowe (też napelnicze) o klasach ziarnowych od 0,3 do 0,5 mm, które można otrzymać podczas precyzyjnego rozdrabniania [8–13]. Oprócz stosowanego aktualnie rozdrabniania tradycyjnego do uzyskania żądanych klas ziarnowych, czynione są poszukiwania w kierunku zastosowania układów uplastyczniających, a zwłaszcza strefy intensywnego ścinania i mieszania do rozdrabniania tworzyw termoplastycznych zwanego przez niektórych pulweryzacją [15, 16]. Innym kierunkiem badań są próby rozdrabniania wtórnych elastomerów usieciowanych do uzyskania żądanych klas ziarnowych i oczekiwanej morfologii elemen-

tarnych ziaren produktu. Ten sposób rozdrabniania elastomerów nazwano *Solid-State Shear Pulverization* (SSSP) [18, 19].

T. Rusiecki i R. Steller [15, 16] przeprowadzili eksperyment rozdrabniania w klasycznej wytłaczarce jednoślیمakowej (Rys. 1) z udziałem kilku tworzyw termoplastycznych (PE-LD, PE-HD, PS, PP). Spośród badanych tworzyw jedynie PE-LD uległ pulweryzacji co można przypisać jego semikrystalicznej strukturze [15]. Rozkład ziarnowy PE-LD przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Wytłaczarka jednoślیمakowa użyta do pulweryzacji tworzyw termoplastycznych: 1 – cylinder, 2 – grzejnik, 3 – węzownica chłodząca, 4 – termopary, 5 – specjalna głowica [15]



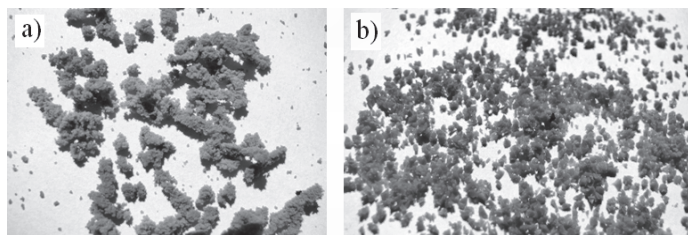
Rys. 2. Wyniki analizy sitowej sproszkowanego PE-LD (oznaczenia: 1–5 prędkości obrotowej ślimaka od 0,17 do 0,42 s⁻¹) [15]

Rozdrabnianie PE-LD w kanale ślimaka następuje nagle w całej masie pod wpływem trzech czynników: temperatury, ścinania i ciśnienia [15]. Jak wynika z przeprowadzonej analizy [15, 16], metoda wytłaczania w stanie stałym nie jest odpowiednia do pulweryzacji wszystkich rodzajów tworzyw. Złożoność zjawisk zachodzących podczas wytłaczania powoduje, że opisanie mechanizmu pulweryzacji wymaga dalszych prac zarówno teoretycznych jak i doświadczalnych [16].

W Instytucie Technik Wytwarzania UTP w Bydgoszczy są prowadzone prace w zakresie wykorzystania znanego zjawiska intensywnego mieszania i ścinania w czwartej (ostatniej) strefie układu uplastyczniającego wytłaczarki i próba zastosowania tego zjawiska do rozdrabniania materiałów wykazujących stosunkowo niską podatność na rozdrabnia-

nie, tj. elastomerów usieciowanych [18, 19]. Na rys. 3 pokazano schemat stanowiska badawczego do rozdrabniania elastomerów, zaznaczono ważniejsze elementy robocze. Natomiast na rys. 4 pokazano ślimak (składany) oraz specjalne elementy: a–c (wymienne w ostatniej strefie), przeznaczone do rozdrabniania elastomerów. Uzyskane klasy ziarnowe oraz ich udziały (%) dla elastomerów usieciowanych o różnej twardości (od 45°Sh A – dla próbki GM4 do 75°Sh A – dla próbki GM1), przedstawiono na rys. 5. Wygląd makroskopowy proszku gumy silikonowej przedstawiono na rys. 6. Na rys. 6b pokazano wygląd elementarnych ziaren wtórnej gumy silikonowej uzyskanej za pomocą rozdrabniania nożowego obrotowego, natomiast na rys. 6a wygląd produktu rozdrabniania sposobem SSSP.

Analizując obraz makroskopowy rozdrobnionej gumy silikonowej należy zauważyć, iż nastąpiła częściowa aglomeracja elementarnych ziaren, co można przypisać zjawisku kumulacji ładunków elektrycz-



Rys. 6. Obraz makroskopowy rozdrobnionej gumy silikonowej: a) rozdrabnianie SSSP, b) rozdrabnianie obrotowe nożowe (klasy ziarnowe od 0,35 do 0,50)

nych na ich powierzchni. Intensywna analiza sitowa (czas trwania około 1800s) pozwala na uzyskania klas ziarnowych od 0,1 do 0,3 mm [19].

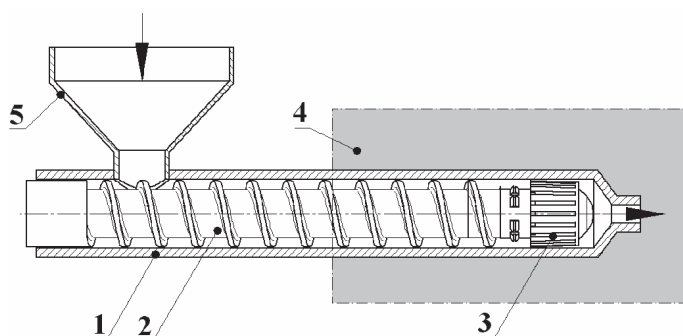
Podsumowanie

Rozdrabnianie w zakresie pulweryzacji tworzyw termoplastycznych wskazuje, iż najkorzystniej stosować ten sposób rozdrabniania dla tworzyw semikrystalicznych. Bliższe poznanie mechanizmu pulweryzacji wymaga jednak dalszych prac teoretycznych i doświadczalnych.

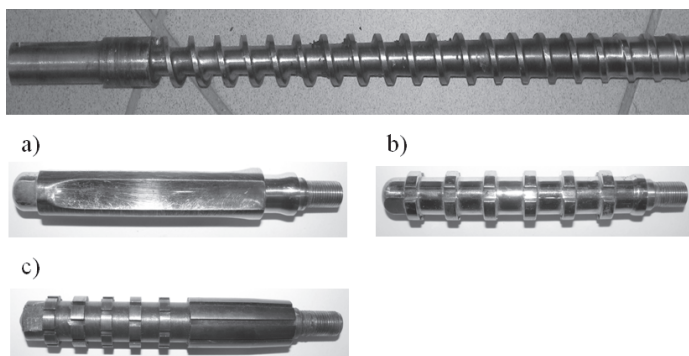
Rozdrabnianie elastomerów usieciowanych z wykorzystaniem strefy intensywnego ścinania i mieszania zmodyfikowanego układu uplastyczniającego stwarza nowe możliwości w obszarze techniki rozdrabniania w ogóle. Prowadzone badania rozpoznawcze wskazują, iż opisany sposób rozdrabniania nadaje uzyskanym elementarnym ziarnom nowe właściwości użytkowe w obszarze morfologii (Rys. 6a) co przy konstytuowaniu materiałów kompozytowych [7] może mieć istotne znaczenie. Realizacja tej problematyki badawczej jest przewidziana w pracach *Institutu Techniki Wytwarzania UTP* w Bydgoszczy.

LITERATURA

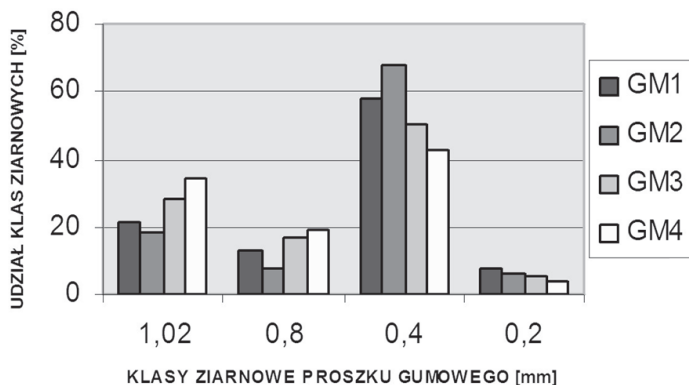
- [1] Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 3.1, 2007.
- [2] W. Michaeli: Kunststoffverarbeitung auf dem Weg ins nächste Jahrtausend. VDI Kunststofftechnik 1997.
- [3] J. Brandrup, M. Bittner, W. Michaeli, G. Menges: Die Wiederverwertung von Kunststoffen. Carl Hanser Verlag, München – Wien 1995.
- [4] G. Menges, W. Michaeli, M. Bittner: Recycling von Kunststoffen. Carl Hanser Verlag, München – Wien 1992.
- [5] M. Żenkiewicz: Inż. Ap. Chem. **23**, nr 6, 21 (1994).
- [6] Wł. Rzymiski, L. Ślusarski, G. Janowska: Zagospodarowanie zużytych wyrobów gumowych w postaci rozdrobnionej. ICMR'94, Bydgoszcz 1994.
- [7] J. Zimniak: Analyse von Grundprozessen der Aufbereitung von Kompositwerkstoffen aus ausgewählten Kunststoff- und Gummiafällen" TU Chemnitz/Niemcy: <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2004/0177>.
- [8] W. Bauer: Fortschritt-Berichte VDI, nr 694, Reihe 3, Verfahrenstechnik (2001).
- [9] M. H. Pahl: Zerkleinerungstechnik. Verlag TÜV, Rheinland 1994.
- [10] Urządzenie rozdrabniające – patent polski nr 130061, twórcy: R. Konieczka i in., 1987.
- [11] Urządzenie rozdrabniające – patent polski nr 335245, twórca: J. Zimniak, 2008.
- [12] J. Flizikowski: Rozdrabnianie tworzyw sztucznych. Wydawnictwa Uczelniane ATR Bydgoszcz, 1998.
- [13] J. Flizikowski: Öko-Mehrscheibenschneidmehle. Grundlage und Beispiele. Wydawnictwa ATR Bydgoszcz, 1994.
- [14] K. Khait, S. H. Carr: Solid-State Shear Pulverization. A New Polymer Processing and Powder Technology. Technomic Publishing Company Inc, Pennsylvania 2001.
- [15] T. Rusiecki, R. Steller: Polimery **47**, nr 3, (2002).
- [16] T. Rusiecki, R. Steller: Polimery **49**, nr 3, (2004).
- [17] A. H. Lebovitz, K. Khait, J. M. Torkelson: Macromolecules **35**, nr 3, (2002).
- [18] J. Zimniak, B. Królikowski: SSSP – nowa metoda rozdrabniania tworzyw poliolefinowych. II Środkowoeuropejska Konferencja: Recykling Materiałów Polimerowych, Nauka-Przemysł, Toruń 2003.
- [19] J. Zimniak: Journal of Polish CIMAC, **4**, nr 2 (2009).



Rys. 3. Schemat ideowy stanowiska badawczego do rozdrabniania elastomerów: 1 – cylinder, 2 – ślimak składany, 3 – element intensywnego mieszania i ścinania, 4 – system chłodzący, 5 – lej zasypowy



Rys. 4. Wygląd ogólny składanego ślimaka: a) element ścinający Maddocka, b) element mieszający, c) element ścinająco-mieszający (własnej konstrukcji)



Rys. 5. Wyniki analizy sitowej rozdrobnionych elastomerów sposobem SSSP: GM1 – wtórna guma o twardości 45°ShA, GM2 – 55°ShA, GM3 – 65°ShA, GM4 – 75°ShA