

Marek MACKO

e-mail: mackomar@ukw.edu.pl

Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

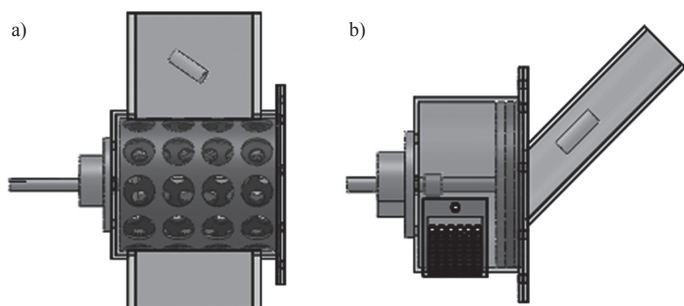
Badania oraz analiza sił i odkształceń w rozdrabnianiu jednokrotnym

Wprowadzenie

Podczas rozdrabniania występują zróżnicowane wartości chwilowych sił i naprężeń, co decyduje o efektywności procesu [1–4]. Również występujące odkształcenia produktu rozdrabniania wpływają na przebieg procesu [5].

W celu precyzyjnego określenia relacji sił i odkształceń w warunkach pracy rozdrabniacza zaproponowano realizację badań jednokrotnego rozdrabniania. Analiza wyników badań może przyczynić się do doboru cech konstrukcyjnych układu rozdrabniającego [6, 7].

Dla rozdrabniania jednokrotnego w warunkach statycznych (maszyna wytrzymałościowa) i dynamicznych (młot uderowy) dostępne są obecnie proceduramy, które ułatwiają szczegółową analizę [8–12]. Jeżeli dodatkowo zostaną zaimplementowane metody komputerowego projektowania, wówczas prawdopodobieństwo skutecznego doboru cech konstrukcyjnych do konkretnych wymagań będzie na tyle dokładne, aby można je było zastosować w warunkach rozdrabniacza laboratoryjnego. Do analizy wybrano warianty rozdrabniacza bębnowego i tarczowego (Rys.1).

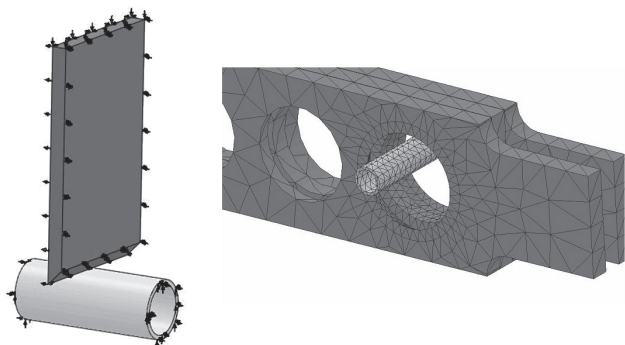


Rys. 1. Zespół roboczy rozdrabniacza: a) bębnowego; b) tarczowego. Widok zestawu wzorcowego noża

Metodyka i wyniki badań

Dla analizy wyników i oszacowania naprężeń w próbce przy określonych warunkach początkowych zastosowano aplikację komputerową *SolidWorks Simulations*.

Podstawowym celem pracy było oszacowanie naprężeń występujących w próbce i ich zmian w zależności od materiału próbki i kąta ostrza. W symulacjach wykorzystano solver *Direct sparse* i metodę *Newtona-Rapsona* do obliczenia układów równań nieliniowych. Na rys. 2 przedstawiono sposoby zamocowania i obciążenia próbki o przekroju rurowym.



Rys. 2. Sposoby zamocowania obciążenia próbki o przekroju rurowym

Wstępne wyniki uzyskano na podstawie badań próbek zamocowanych na obu końcach za pomocą podpór nieruchomych. Wymiary próbek były następujące:

- średnica próbki: 15 mm,
- grubość ścianki: 1,52 mm,
- długość próbki: 50 mm.

Przeprowadzono symulację dla pięciu kątów ostrza: 60°, 75°, 90°, 105°, 120° i trzech wartości prędkości liniowej, a wyniki badań zaprezentowano na rys. 3.

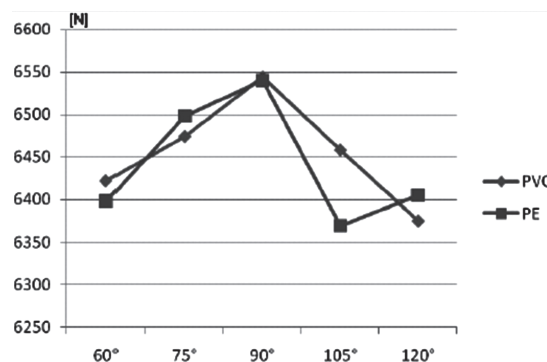
| Kąt ostrza | Prędkość | | |
|------------|----------|--------|--------|
| | 10mm/s | 30mm/s | 50mm/s |
| 60° | 6422N | 6989N | 7193N |
| 75° | 6474N | 6990N | 7237N |
| 90° | 6544N | 7077N | 7617N |
| 105° | 6458N | 6916N | 7439N |
| 120° | 6375N | 6798N | 7461N |

Rys. 3. Wartości sił dla próbki wykonanej z PE dla różnych prędkości i kątów ostrza

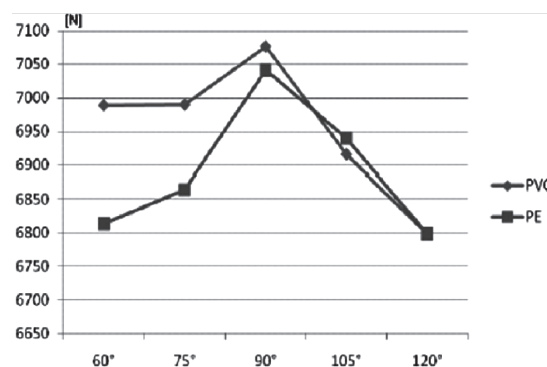
W dalszej części eksperymentu wykorzystując ten sam rodzaj zamocowania próbki przeprowadzono symulację dla próbek o następujących wymiarach:

- średnica próbki: 20 mm,
- grubość ścianki: 1,57 mm.

Symulacja została przeprowadzona również dla pięciu kątów ostrza: 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, a wyniki przedstawiono na rys. 4 i 5.

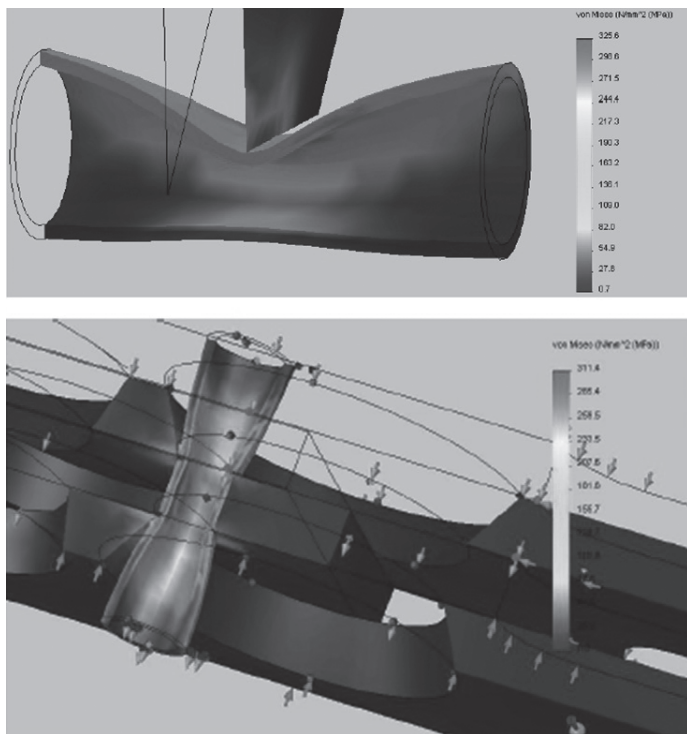


Rys. 4. Przebieg zmian obciążeń dla prędkości 10mm/s (próbki PVC i PE)

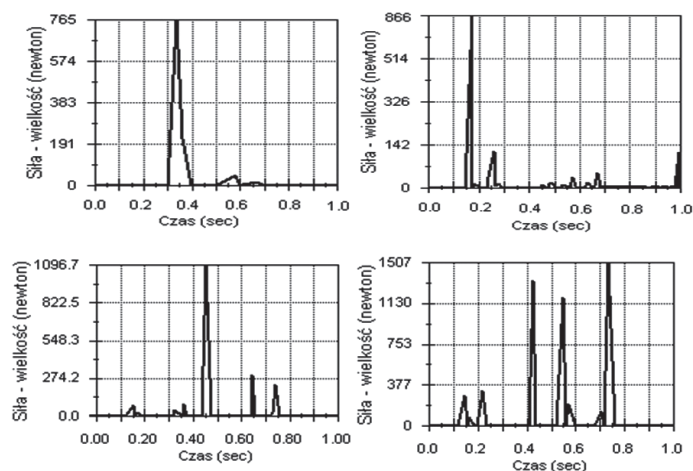


Rys. 5. Przebieg zmian obciążeń dla prędkości 30mm/s (próbki PVC i PE)

Odształcenia próbki wskazują na zróżnicowany charakter obciążeń w strefie oddziaływań: przyrząd – próbka. Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Zakres odkształceń próbki dla prędkości 30 mm/s przy dwóch wariantach zamocowania (PVC)



Rys. 7. Przykładowe zmiany siły podczas jednokrotnego rozdrabniania (materiał PVC, prędkość zadawania obciążeń 2 m/s)

Przebieg zmienności sił w warunkach jednokrotnego rozdrabniania wskazuje na impulsowy charakter oddziaływań. Ten zakres badań zrealizowano na stanowisku badawczym wyposażonym w przetwornik siły, wzmacniacz i aplikację do analizy sygnałów firmy HBM – Spider-Catman. Utworzone zostały warunki konstrukcyjne zbliżone do cech komory roboczej rozdrabniacza laboratoryjnego (bębnowego i tarczowego).

Dla próbki PVC o przekroju połówkowym, umieszczonej w układzie bębnowym po uruchomieniu analizy otrzymano wyniki pokazane na wykresach zestawionych na rys.7.

Dyskusja i wnioski

Wyniki badań wskazują na zróżnicowany charakter oddziaływań na próbkę. Zakres obciążeń wahał się w granicach od 6,4 kN (dla kąta

ostrza 60° – próbka PE) do wartości 6,55 kN (dla kąta ostrza 90°) przy prędkości 10 mm/s oraz od 6,8 kN (dla kąta ostrza 60° – próbka PE) do 7,05 kN (próbka PVC). Interesujące jest zjawisko występowania mniejszych wartości obciążeń dla kątów powyżej 90°. Jest to związane z wciąganiem materiału między listwy zespołu roboczego oraz występowaniem odkształceń postaciowych.

Podczas rozdrabniania jednokrotnego o przekroju połówkowym uzyskano wartości obciążeń chwilowych na poziomie 765 N, 866 N, 1,1 kN, 1,5 kN. Należy zaznaczyć, że prędkość liniowa elementów roboczych względem próbki wynosiła tutaj 2 m/s. Wskazano również na obszary, w których występują znaczne odkształcenia postaciowe.

Uzyskane wyniki badań pozwalają przypuszczać, że podobnie jak w przypadku dyssypacji energii użytecznej, również w akumulacji energii wewnętrznej i jej symptomach zewnętrznych, podczas quasi-ściskania materiałów, zachodzą równie złożone i nie zawsze spodziewane następstwa oraz wzajemne uwarunkowania. Do ich opisu można wykorzystać aplikacje wspomagające komputerowe projektowanie na poziomie zarządzania za pomocą wyników i analizy danych. Do tej samej grupy zaliczyć można systemy ekspertowe, sztuczne sieci neuronowe czy algorytmy genetyczne. Planuje się prowadzenie w tym zakresie dalszych badań nad oszacowaniem relacji energetycznych podczas rozdrabniania.

Dalsze badania powinny zmierzać do uszczegółowienia zakresu zmienności danych wejściowych oraz podwyższenia jakości modeli. Należy również rozważyć wprowadzenie zakresu nieliniowego materiałów, mimo że spowoduje to znaczne skomplikowanie badań. Trzeba wówczas zdefiniować propagację uszkodzeń, plastyczność materiału i wiele innych danych materiałowych.

Ponadto siatka dyskretyzacyjna dla tych symulacji powinna być zaprojektowana ze znacznie mniejszych elementów skończonych. Symulacje powinny mieć również znacznie większą dokładność obliczeniową. Do ich wykonania mogą być zastosowane także inne programy, np.: *Abaqus*, w którym można zdefiniować materiał plastyczny w sposób zbliżony do warunków rzeczywistych.

Wykonane badania dają szacunkowe wartości i ogólny zarys zachowań próbki pod żądanym wymuszeniem. Zastosowanie tych badań do prototypowania wymagałoby jednak bardziej dokładnych analiz wyników.

LITERATURA

- [1] W. Bauer, D. Wustenberg: *Chemical Engineering & Technology*, **25**, nr 11, 1047 (2002).
- [2] M. Chaudhri: *Powder Technology* 143/144, 31 (2004).
- [3] D. Dudziński, A. Molinari: *International Journal of Mechanical Sciences*, **39**, nr 41, 369 (1997).
- [4] J. Flizikowski, M. Macko: *Polimery* **46**, nr 1, 53 (2001).
- [5] M. Macko: Wpływ cech konstrukcyjnych zespołu wielotarczowego na charakterystyki użytkowe procesu rozdrabniania rurowych recyklatów tworzyw sztucznych. Praca doktorska, WM-ATR Bydgoszcz 2000.
- [6] M. Opielak: *Rozdrabnianie materiałów w przemyśle rolno-spożywczym. Cz. 2. Badanie wpływu konstrukcji rozdrabniacza i cech materiału rozdrabnianego na jakość i energochłonność procesu*. Wyd. Pol. Lubelskiej, Lublin 1996.
- [7] M. Meier, E. John, D. Wieckhusen, W. Wirth, W. Peukert: *Powder Technology* 194, 33 (2009).
- [8] S. Sadrai, J.A. Meech, M. Ghomshei, F. Sassani, D. Tromans: *Int. J. of Impact Eng.*, 33 (2006).
- [9] Y. Wang, E. Forssberg: *China Particuology* 5, 193 (2007).
- [10] M. Macko: Wizualizacja procesu rozdrabniania jednokrotnego recyklatów polimerowych. Konferencja: Postęp w przetwórstwie materiałów polimerowych, Częstochowa 2010.
- [11] M. Zastempowski: *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, **49**, nr 4, 64 (2004).
- [12] J. Flizikowski: *Rozdrabnianie tworzyw sztucznych*. Wyd. ATR, Bydgoszcz 1998.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2009/2011 jako projekt badawczy.