

Marek MACKO, Krzysztof TYSZCZUK

e-mail: mackomar@ukw.edu.pl

Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

Badania użyteczności rozdrabniacza wielokrawędziowego i żyłtkowego

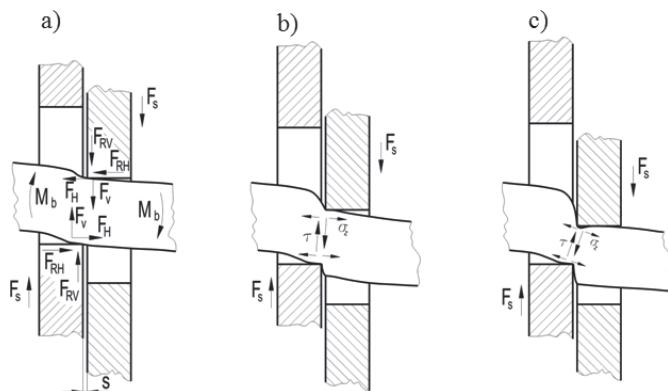
Wstęp

Koncepcja rozdrabniacza wielokrawędziowego i żyłtkowego, opracowanego i rozwijanego w zespole UTP/UKW w Bydgoszczy, ulega ciągłej modernizacji i weryfikacji funkcjonalnej [Flizikowski, 2011; Jankowski i Tyszczuk, 2009; Macko, 2011a,b,c; Tomporowski i Opielak, 2012]. Celem zmian konstrukcji oraz modyfikacji procesu rozdrabniania jest uzyskanie pewnego stanu użyteczności, sprawności i niezskodliwości. Norma [ISO 9241, 1998] definiuje użyteczność, jako miarę wydajności, efektywności i satysfakcji użytkownika, z jaką dany produkt może być używany, dla osiągnięcia konkretnych wyznaczonych wcześniej celów. Zespół autorów przyjął założenie, iż ten cel osiągnąć można przez poszukiwanie nowych konstrukcji narzędzia, materiału narzędzia i odniesionego do tych elementów procesu, w tym przypadku procesu rozdrabniania precyzyjnego.

Jak wynika z przeprowadzonych badań studialnych i doświadczeń własnych, możliwe jest zaprogramowanie eksperymentu pozwalającego na poznanie i opis szczegółowych zależności prowadzących do przemysłowego rozwoju proinnowacyjnej konstrukcji, procesu i przemysłowego wykorzystania materiału biologicznego. Celem pracy jest wyznaczenie efektywności rozdrabniania w aspekcie wybranych wskaźników dalszego zastosowania. Są nimi wskaźnik sedimentacji paszowej (mieszanka z wodą), wskaźnik ubytku tłuszczu i olejków żywieniowo – smakowych, wskaźnik podatności na dalsze przetwórstwo.

Konstrukcja rozdrabniaczy

Rozdrabniacze wielokrawędziowe charakteryzują się tym, że dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu geometrycznemu otworów w tarczach, bębnach lub listwach możliwe jest, poprzez nadanie relacji wzajemnego ruchu między nimi, rozdrabnianie między sąsiednimi krawędziami (Rys. 1).



Rys. 1. Wzajemne relacje geometryczne płaskowników z otworami rozdrabniacza wielokrawędziowego i nadawy (dla kąta ostrza 90°): a) oznaczenie momentów i obciążeń; F_s – siła ścinania, M_b – moment zastępczy, F_H – siła prostopadła do kierunku przemieszczenia płaskowników, F_V – siła styczna, F_{RH} , F_{RV} – siły reakcji na krawędziach listwy, s – szczelina, b) naprężenia występujące w próbce dla przemieszczenia płaskowników na odległość 75% grubości próbki; τ – naprężenia styczne, σ – naprężenia normalne, c) naprężenia występujące w próbce w przypadku przemieszczenia płaskowników na odległość 50% grubości próbki

W praktyce przemysłowej stosowane są rozdrabniacze o szerokim spektrum rozwiązań konstrukcyjnych i wydajności mierzonej w kg/godz., np. [Flizikowski, 2011; Jankowski i in., 2009; Konieczka, 1996; Macko, 2011b,c; Pahl, 1993]

Rozdrabniacz wielokrawędziowy opiera się na konstrukcji złożonej, opartej o innowacyjne rozwiązanie narzędzi tnących [Macko, 2011a].

Uzyskane pozytywne efekty rozdrabniania oleistych materiałów biologicznych dały podstawę do modyfikacji konstrukcji, ale również pozwoliły na zmianę warunków procesu rozdrabniania.

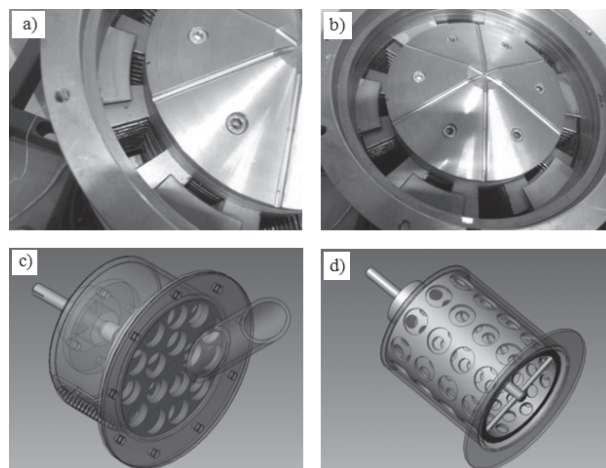
Zespół wielokrawędziowy stanowi zespół tarcz lub bębnów z otworami wykonanymi na współcentrycznych obwodach, które są wprowadzane w ruch obrotowy przez silnik, przekładnię i układ tulei – sprzęgieł z nimi nierozłącznych. Otwory na obwodzie i promieniowo są rozmieszczone równomiernie według stałej podziałki. Możliwość w zakresie geometrycznych modyfikacji tarcz i bębnów prowadzi do dostosowania warunków rozdrabniania do oczekiwań dotyczących właściwości nadawy i jakości produktu rozdrabniania.

W rozdrabnianiu wielokrawędziowym, analogicznie jak w przypadku rozdrabniaczy nożowych, główną operacją jest cięcie – wynik współpracy krawędzi elementów ruchomych (w tarczach lub w bębnach), wykonujących ruch obrotowy oraz krawędzi noża stałego osadzonego w budowie urządzenia rozdrabniającego. Podczas quasi-ścianania obrotowego element tworzywowy oparty jest na powierzchni natarcia noża stałego (Rys. 1). Należy tak dobrać parametry zasilania (dozowania wsadu) i cechy ruchu tarcz–narzędzi rozdrabniających, aby zostały zrealizowane: quasi-ściananie oraz podstawowe funkcje: przemieszczanie i rozdrabnianie w przestrzeni między otworami. W przypadku realizacji tylko jednej z wymienionych funkcji, wskazania energetyczne są niemiarodajne. Innym problemem jest zanik funkcji rozdrabniania w ogóle i sprzeczne rozwiązanie w sensie wysokiej użyteczności (równomierności).

Wywołane zjawiska w przestrzeni wielopięściennej, wielokrawędziowego kontaktu skrawającego, wpływają na wzrost wydajności i obniżenie jednostkowego zużycia energii, ostrza rozcinają równomiernie i skutecznie przemieszczają się między nimi wsad, a wspomaganie dodatkowym strumieniem powietrza umożliwia szybkie wyjście produktu poza rozdrabniacz, po osiągnięciu pożądanego wymiaru produktu i bez wzrostu temperatury.

Modele rozdrabniania wielokrawędziowego i żyłtkowego

Model rozdrabniania wielokrawędziowego i żyłtkowego uwzględnia rzeczywiste systemy, stany użytkowe, produkcyjne, sterujące lub ich elementy i relacje w przestrzeni rozdrabniania o podwyższonej efektywności działania (Rys. 2). Modele obejmują kryteria, wskaźniki do oceny rozdrabniania wielokrawędziowego w konfiguracji bębnowej, nożowej i listwowej.



Rys. 2. Widok przestrzeni rozdrabniacza żyłtkowego (a, b) i wielokrawędziowego (c, d)

Wraz ze zmniejszeniem się jednostkowego zapotrzebowania energii zwiększa się sprawność energetyczna procesu. Jako miarę użyteczności do dalszych rozważań zaproponowano pojęcie *energochłonności* na zadany wymiar przetworczy – tzw. *energochłonność celową* (np. 80% ziaren o średnim rozmiarze 4,8 mm) E_{Rq} :

$$E_{Rq} = \frac{P_r}{W_{fq}} = \frac{P_j + P_s + P_d}{W_{fq}} = \frac{k_j v_R \delta_{q-s} A_R + \epsilon F_r v_R^2}{W_{fq}} \quad (1)$$

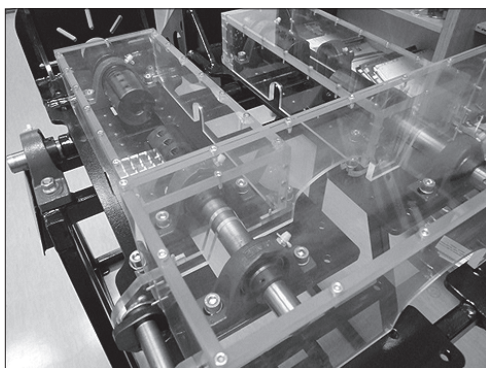
gdzie:

P_r – moc przeznaczona na rozdrabnianie, [kW],
 W_{fq} – wydajność mierzona ilością rozdrobnionego tworzywa o pożądanym rozmiarach ziarna ($f_q = 4,8$ mm), [kg·h⁻¹].

Badania laboratoryjne

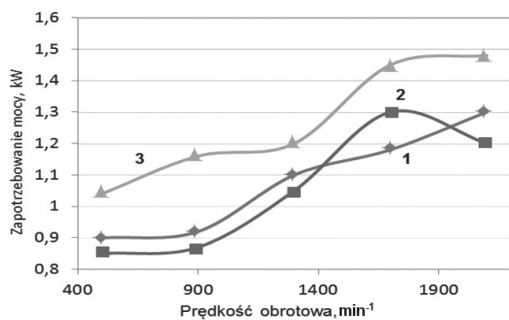
Stanowisko laboratoryjne zbudowano według własnej koncepcji w ramach projektu badawczego *Komitetu Badań Naukowych* w latach 2003–2005, a następnie zmodyfikowano do potrzeb badań efektywności energetycznej rozdrabniania w ramach projektu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego [Macko, 2011a].

Ramę i układ napędowy wykonano w taki sposób, aby możliwy był pomiar momentów obrotowych i prędkości kątowych w dowolnym ustawieniu wałka napędowego (od pionowego do poziomego). Zaproponowano taką budowę stanowiska, w którym układ napędowy wraz z czujnikami pomiarowymi stanowi zintegrowaną bazę do prowadzenia badań z zastosowaniem różnych typów układów dezintegrujących. Wykorzystuje się wówczas końcówkę wału maszynowego, na którym osadzone są układy robocze rozdrabniacza (Rys. 3).



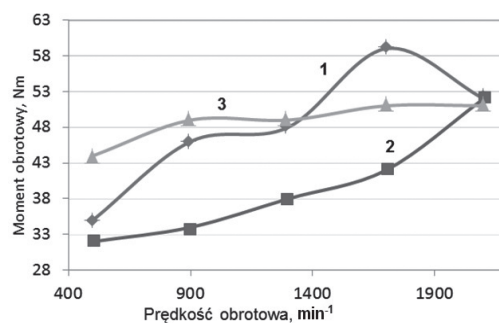
Rys. 3. Widok rozdrabniacza laboratoryjnego wyposażonego w układ roboczy rozdrabniacza wielokrawędziowego i żyłkowego

Badania weryfikujące zrealizowano dla dwóch próbek z tworzyw polimerowych PVC przy prędkościach obrotowych (500, 900, 1700 i 2100) min⁻¹. Na podstawie wyników – wartości średnich – sporządzono wykresy zapotrzebowania mocy i momentu obrotowego w zależności od prędkości obrotowej i siły docisku dla trzech rodzajów próbek (Rys. 4, 5).



Rys. 4. Wpływ prędkości obrotowej na zapotrzebowanie mocy podczas rozdrabniania próbek, PVC; 1 – rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi, 2 – rozdrabniacz bębnowy, 3 – rozdrabniacz z układem żyłkowym

Wyniki badań doświadczalnych poszerzają wiedzę z zakresu rozdrabniania i stanowią materiał do utworzonej i rozbudowywanej bazy danych, dotyczących konstrukcji oraz procesu rozdrabniania wielokra-



Rys. 5. Wpływ prędkości obrotowej na wartość momentu obrotowego próbek, PVC; 1 – rozdrabniacz tarczowy z otworami walcowymi, 2 – rozdrabniacz bębnowy, 3 – rozdrabniacz z układem żyłkowym

wędziowego. Dane te wykorzystano w zintegrowanym systemie ekspertowym, opisanym w pracy [Macko, 2011a], w celu ułatwienia doboru konstrukcji rozdrabniacza do odpowiednich materiałów.

Koncepcja stanowiska laboratoryjnego umożliwia realizację badań rozdrabniania dla szerokiego spektrum czynników stałych:

- właściwości materiałowe i kształt elementów rozdrabnianych jako nadawcy,
- wymiary elementów rozdrabnianych oraz zmiennych:
- momenty i prędkości obrotowe tarcz i bębnow z otworami,
- cechy konstrukcyjne przestrzeni rozdrabniacza.

Analiza wyników badań wykazuje, że najwyższą użyteczność kąta ostrza krawędzi otworu w zakresie badawczym β (60°, 75°, 90°, 105°, 120°) uzyskuje się dla $\beta = 60^\circ$ (równania regresji nieliniowej 4 stopnia) $L = f(\beta)$.

Minimalna użyteczność pracy quasi-ścianania występuje dla kąta $\beta = 90^\circ$ (próbki o średnicach zewnętrznych $D_z \geq 0,5 d_{otw.}$) oraz dla kąta $\beta = 120^\circ$ – dla próbek o średnicach zewnętrznych $D_z \leq 0,5 d_{otw.}$

Wnioski

Istnieje związek między pracą quasi-ścianania a prędkością względną między listwami w warunkach maszyny wytrzymałościowej dla zakresu badawczego prędkości v_r (równania regresji nieliniowej 4 stopnia).

W porównaniu z innymi sposobami celowej deformacji i dezintegracji próbki, podczas quasi-ścianania występuje najwyższa użyteczność prowadząca do dezintegracji próbki.

Wartość pracy stanowi 86% nakładów w porównaniu z rozrywaniem technologicznym oraz 87% w porównaniu ze ścinaniem (przy wypełnieniu otworu).

LITERATURA

- Flizikowski J., 2011. *Micro- and Nano-energy Grinding*. Pan Stanford Publishing (ISBN-10 9814303534)
- ISO 9241, 1998. *Ergonomics of Human System Interaction* (Title from 2006)
- Jankowski M., Tyszczyk K., Kopacz S., 2009. Algorytm optymalizacji rozdrabniania nasion oleistych z wykorzystaniem programowania genetycznego *Inż. Ap. Chem.* **48**, nr 2, 54-55
- Konieczka R., 1996. Podstawy mechanicznych procesów recykulacji folii z polietylenu małej gęstości. *Rozprawy ATR Bydgoszcz*, nr 74
- Macko M., 2011a. *Modeling and simulation of multi-edge comminution* [w:] Machine Modeling and Simulations 2011 – The 16th International Slovak-Polish Conference. Terchová, Slovakia. Wyd. University of A. Dubček in Trenčín, 87-92. (ISBN 978-80-8075-494-5)
- Macko M., 2011b. *Metoda doboru rozdrabniaczy wielokrawędziowych do przeróbki materiałów polimerowych*. Wyd. Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz (ISBN978-83-7096-821-2)
- Macko M., 2011c. *Comminution as an important stage in recycling* [w:] Damanhuri E. (ed.): Recycling / Book 2. InTech – Open Access Pub. (ISBN 978-953-307-1150-2)
- Pahl M. H., 1993. *Zerkleinerungstechnik. Praxiswissen Verfahrenstechnik*. Mechanische Verfahrenstechnik Auflage, Leipzig
- Tomporowski A., Opielak M., 2012. Structural features versus multi-hole grinding efficiency. *Eksplotacja i Niezawodność. Maintenance and Reliability*, 14, nr 3, 223-228