

Wpływ geometrii elementów roboczych ekstrudera na energochłonność i jakość otrzymywanego produktu

Streszczenie:

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu konfiguracji ślimaka ekstrudera na jednostkowe zużycie energii, stopień ekspansji i uzyskiwaną temperaturę w czasie procesu.

Badania przeprowadzono dla 3 konfiguracji ślimaka i dwóch wartości wilgotności podawanego surowca.

Wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że zmiana geometrii elementów roboczych ekstrudera ma wpływ na kształtowanie parametrów procesu ekstruzji.

Słowa kluczowe: ekstruder, energochłonność procesu ekstruzji

Wprowadzenie

Od wielu lat w przemyśle spożywczym i paszowym ekstrudery jednoślindakowe znajdują szerokie i wielorakie zastosowania [Harper 1981a, b; Rauwendaal, 1989; Chinnaswamy i Hanna, 1988]. Wynika to z ich niskiej ceny, dużej wydajności i trwałości. Powszechnie znaną wadą ekstruderów jednoślindakowych jest stosunkowo wąski zakres zmian parametrów przebiegu procesu, którymi można sterować, oraz występująca interakcja między parametrami procesu. Jednym z najwcześniej zaprezentowanych modeli opisujących pracę ekstrudera jednoślindakowego był model opracowany i przedstawiony przez Darnell'a i Moll'a [1956]. Model ten był rozwijany przez wielu innych badaczy. Opisywał proces przemieszczania materiału wewnątrz tulei cylindra ekstrudera.

Sam proces ekstruzji jest stosunkowo prostym procesem, jednak sterowanie charakterystyką produktu końcowego jest skomplikowane. Temperatura pracy i zawartość wilgoci są kluczowymi parametrami wpływającymi na wewnętrzną strukturę oraz własności lepkościowe otrzymywanego ekstrudatu zbożowego [Brendt i inni, 1997]. Wzrastająca temperatura procesu zmniejsza zwykle lepkość. Prowadzi to do spadku zużycia energii, jednak w ekstruderach autogenicznych może powodować zmniejszenie wartości sił tarcia i w efekcie obniżenie temperatury procesu, powodując ponowny wzrost lepkości. W ekstruderach używanych w przemyśle spożywczym i paszowym stosowanych jest kilka metod poprawiających możliwości sterowania przebiegiem procesu: wydłużenie cylindra (zwiększenie stosunku L/D), dostosowanie parametrów cylindra i ślimaka, ograniczenie przepływu materiału poprzez wprowadzenie elementów zakłócających przepływ surowca.

Wydłużenie czasu przebywania w obszarze podwyższonego ciśnienia dzięki wydłużeniu części sprężającej może zapobiec spadkowi temperatury materiału w ekstruderze.

W pracy próbowano wyznaczyć optymalną konfigurację ślimaka ekstrudera pozwalającą na uzyskanie właściwej temperatury generowanej w układzie ekstrudera adiabatycznego.

Wpływ kształtu ślimaka i jej profilu wielokrotnie przedstawiano w licznych publikacjach dotyczących ekstruderów. Zawsze jednak podkreślano, że dotyczy to profilu ślimaka w określonym ekstruderze. To zastrzeżenie jest spowodowane występującą interakcją pomiędzy poszczególnymi elementami współpracującymi. Dlatego w wielu publikacjach zwraca się uwagę na konieczność poprawnego doboru parametrów geometrycznych ślimaka [Yeh, Jaw, 1999] do pozostałych parametrów geometrycznych ekstrudera.

Cel i zakres pracy

Celem podjętych badań było zbadanie wpływu zmiany konfiguracji elementów roboczych ekstrudera jednoślindakowego na parametry technologiczne przebiegu procesu ekstruzji.

Zakres pracy obejmował pomiary: jednostkowego zużycia energii elektrycznej, osiąganey temperatury głowicy ekstrudera oraz objętościowego współczynnika ekspansji ekstrudatu [VEI].

Badania przeprowadzono dla trzech konfiguracji ślimaka oraz dwóch wartości wilgotności podawanego materiału.

Metodyka badań

Materiałem wejściowym była śruta kukurydziana o wilgotności 14% i 25%, rozdrobniona w rozdrabniaczu bijakowym o średnicy otworów w sitach wynoszących 3 mm. Wilgotność 25% otrzymano nawilżając rozdrobnioną śrutę w mieszalniku wstęgowym.

Obiektem badań był proces ekstruzji w ekstruderze jednoślindakowym o standartowym stosunku L/D wynoszącym 6,5 i prędkości obrotowej $n = 200$ obr/min.

Zużycie energii elektrycznej mierzono bocznikiem prądowym o klasie dokładności $k=1.5$ i woltomierzem o klasie dokładności $k = 2$ połączonymi z urządzeniem rejestrującym uśredniającym i mnożącym o częstotliwości próbkowania $f=1\text{Hz}$. Na podstawie wartości uzyskanych parametrów obliczano moc pobieraną przez ekstruder.

Temperaturę głowicy ekstrudera mierzono w dwóch punktach w pobliżu otworów wylotowych oporowymi przetwornikami temperatury Pt100. Gęstość (wzór 1) ekstrudatu mierzono stosując zmodyfikowaną metodę wypornościową [Pan 1998]. Dla każdego punktu pomiarowego mierzono 15 próbek pomiarowych z względnym błędem granicznym wynoszącym $\Delta=1\%$ każdy. Do obliczenia stopnia ekspansji objętościowej stosowano wzór 2 [Alvarez-Martinez 1988].

$$\rho_e = m/V_e \quad (1)$$

$$VEI = \frac{\rho_m (1 - MC_m)}{\rho_e (1 - MC_c)} \quad (2)$$

gdzie: ρ - gęstość [m^3/kg], MC – zawartość wilgoci [%], m – masa ekstrudatu [kg], V_e – objętość ekstrudatu [m^3], indeksy: m – materiał, e – ekstrudat.

Badania przeprowadzano dla trzech konfiguracji ślimaka:

- I- końcowa sekcja o zwiększonej średnicy rdzenia (rys.4a),
- II- dwie końcowe sekcje o zwiększonej średnicy rdzenia (rys.4b),
- III- wszystkie sekcje o jednakowej średnicy rdzenia (rys.4c).

W każdym przypadku sekcje oddzielone były tarczami spiętrzającymi.

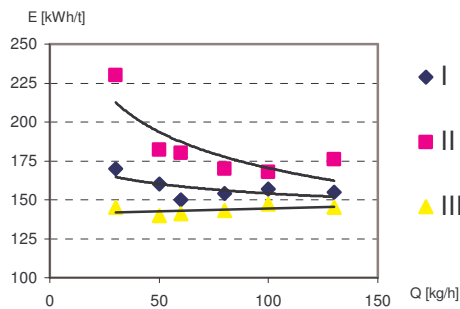
Badania przeprowadzono zmieniając natężenie przepływu surowca wynoszące od 30 – 130 kg/h. W celu obniżenia wpływu błędu przypadkowego, masa próbki wynosiła 30 kg. Z takiej próbki pobierano 15 próbek, które następnie poddano badaniom.

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancyjnej.

Wyniki badań

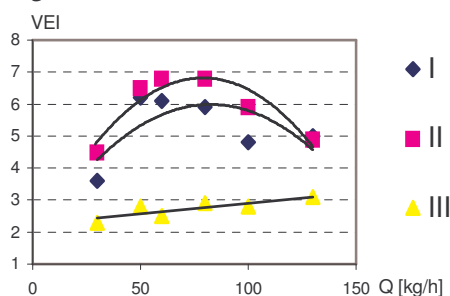
Wpływ konfiguracji ślimaków

Poddano weryfikacji hipotezę H_0 równości wartości średnich otrzymanych wartości jednostkowego zużycia energii w przypadku każdej z frakcji dla poziomu istotności $\alpha=0.05$. Ponieważ otrzymane parametry F dla trzech zmierzonych parametrów spełniają warunek $F > F_{0,05}$ hipotezę H_0 należy odrzucić. Istnieje zatem istotna statystycznie różnica zmienności wartości średnich. Na wykresie poniżej (rys. 1.) przedstawiono zmiany jednostkowego zużycia energii w zależności od natężenia przepływu i konfiguracji ślimaków. Podczas badań największe jednostkowe zużycie energii zaobserwowano przy II konfiguracji ślimaków (rys. 4b). Spowodowane było ono zwiększonym stopniem sprężania co w efekcie zmniejsza wydajność i prowadzi do zwiększonego zużycia energii elektrycznej. Optymalnym zestawieniem ślimaków ekstrudera okazało się zestawienie I (rys. 4a), przy którym zużycie energii było stosunkowo niskie. Przy tym zestawieniu ślimaków także współczynnik ekspansji objętościowej (rys. 2) był stosunkowo wysoki i mieścił się w granicach od 5 – 6. W trakcie badań najwyższą temperaturę uzyskano przy II zestawieniu ślimaka (rys. 4b). Wynosiła ona około 170 °C. Nieznacznie niższą temperaturę uzyskano także przy zestawieniu I (rys. 4a).



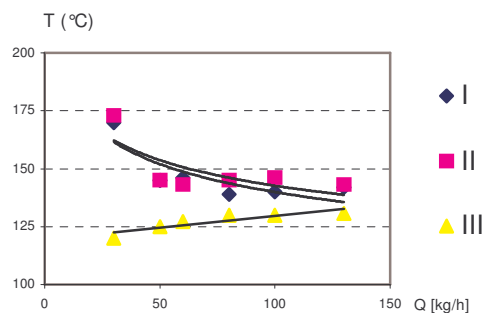
Rys. 1. Zmiana jednostkowego zużycia energii w zależności od natężenia przepływu i konfiguracji ślimaków

Fig. 1. Change in the specific energy consumption as a function of the flow rate and the screw configuration



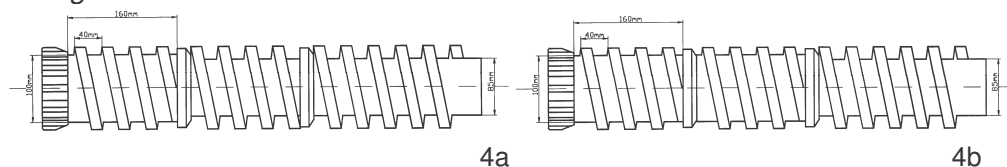
Rys. 2. Zmiana objętościowego współczynnika ekspansji w zależności od natężenia przepływu i konfiguracji ślimaków

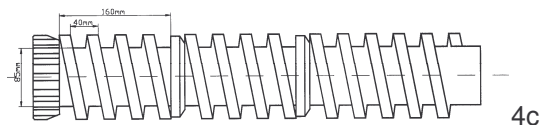
Fig. 2. Change in the volumetric expansion coefficient as a function of the flow rate and the screw configuration



Rys. 3. Zmiana temperatury w zależności od natężenia przepływu i konfiguracji ślimaków

Fig. 3. Change in temperature as a function of the flow rate and the screw configuration





Rys. 4. Schemat konfiguracji ślimaków; a – konfiguracja ślimaka z jedną częścią o zwiększonej średnicy rdzenia, b – konfiguracja ślimaka z dwoma częściami o zwiększonej średnicy rdzenia, c - konfiguracja ślimaka bez części o zwiększonej średnicy rdzenia.

Fig. 4. Diagram of screw configuration; a – configuration of a screw with one part with an increased diameter of core, b – configuration of a screw with two parts with an increased diameter of core, c - configuration of a screw without any part with an increased diameter of core.

Niezadowalające wyniki badań otrzymano przy III zestawieniu ślimaków (rys. 4c), przy którym występowały trudności w uzyskaniu odpowiedniej temperatury (rys. 3), i współczynnika ekspansji objętościowej, który po zmierzeniu wynosił od 2,1 do 3.

Wnioski

Wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że zmiana geometrii elementów roboczych ekstrudera ma istotny wpływ na przebieg procesu ekstruzji.

Zmniejszenie przekrojów kanałów ślimaka istotnie wpływało na zwiększenie energochłonności procesu. Przy zastosowaniu dwóch ślimaków o zmniejszonym przekroju kanałów ślimaka (ze zwiększoną średnicą rdzenia) jednostkowe zużycie energii wzrosło nawet do 225 KWh/h.

Najwyższą wartość współczynnika ekspansji objętościowej (około 5,5 – 6,5) uzyskano przy dołączeniu do ślimaka dwóch sekcji o zmniejszonym przekroju kanałów ślimaka.

Dla tego typu ekstrudera optymalnym z energetycznego punktu widzenia zestawieniem ślimaków było zastosowanie jednej sekcji o zmniejszonym przekroju kanałów ślimaka i dwóch sekcji o zwiększonym przekroju kanałów ślimaka, przy którym wartość jednostkowego zużycia zawierała się w granicach 155 – 170 KWh/h.

Zmiana geometrii elementów roboczych ekstrudera znacznie wpłynęła na zmiany temperatury wewnątrz tulei ekstrudera. Maksymalną temperaturę ekstruder osiągał przy II zestawieniu ślimaków (około 170° C) zaś minimalną przy III zestawieniu ślimaków (około 125° C).

Bibliografia

Brendt J. L., Mulvaney S. J., Cohen C., Bartsch J. A., 1997. Thermomechanical glass transition of extruded cereal melts. *Journal of Cereal Science*, 26, 301-312.

Chinnaswamy R., Hanna M. A. 1988. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. *Cereal Chemistry*, 65, 138-143

Darnell W.H, E.A.J. Moll. 1956: *SPE Journal*, (12), 20

Harper, J. M. (1981a). *Ekstrusion of foods* (Vol. 1, 14th ed.). Boca Raton. FL: CRC Press

Harper, J. M. (1981b). Food extruder and their applications. In C. Mercier, P. Linko, & J. M Harper (Eds.), *Extrusion Cooking* (pp. 1-15). St. Paul MN: American Association of Cereal Chemists

Pan Z., Zhang S., Jane J. 1998. Effects of extrusion variables and chemicals on the properties starch-based binders and processing conditions. *Cereal Chem.* 75: 541-546.

Rauwendaal C., 1989. The ABC of extruder screw design. *Advances in Polymer Technology*, 9, 301 – 308

Yeh An-I., Jaw Y.-M., 1999. Effects of feed rate and screw speed on operating characteristics and extrudat properties during single screw extrusion cooking in rise flour. *Cereal Chemistry*, 76, 236-242.

Influence of the working element geometry of the extruder on the energy consumption and quality of the obtained product

Summary:

The paper presents results of investigations on the influence of the configuration of an extruder screw on the specific energy consumption, degree of expansion and temperature produced while processing.

The investigations were carried out for three configurations of a screw and two values of humidity of the row-material supplied.

Experimental results revealed that a change in the geometry of working elements of the extruder have the effects on moulding the process parameters of extrusion.

Keywords: extruder, energy consumption in the process of extrusion