

Andrzej OBRANIAK, Tadeusz GLUBA

e-mail: obraniak@wipos.p.lodz.pl

Katedra Aparatury Procesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Wpływ parametrów procesowych na efekt okresowej granulacji nawozu *Lubofoska*

Wstęp

Jedną z często stosowanych metod wytwarzania granulatu jest bębnowa granulacja aglomeracyjna polegająca na formowaniu i narastaniu cząstek podczas ruchu cyrkulacyjnego nawilżonego materiału drobnodziarnistego. Proces ten realizuje się w poziomych lub nachylnych pod niewielkim kątem bębnach obrotowych. W porównaniu z innymi metodami granulacji cechuje go energooszczędność, niskie koszty eksploatacji instalacji oraz możliwość sterowania rozmiarem cząstek (średnicą zastępczą) otrzymywanego produktu [1, 2].

Cel pracy

Celem pracy była ocena wpływu wybranych parametrów procesowo-aparaturowych (wilgotności złoza, oraz stopnia wypełnienia bębna granulatora) na skład granulometryczny uzyskiwanego produktu.

Aparatura doświadczalna

Badania granulacji prowadzono w laboratoryjnym granulatorze bębnowym o działaniu okresowym o średnicy $D = 0,5\text{m}$ i długości $L = 0,4\text{m}$. W aparacie zamkniętym od czoła pokrywą z centrycznym otworem zastosowano przegrody wzdłużne w celu zapobieżenia poślizgowi materiału sypkiego. Ruch obrotowy bębna uzyskiwano za pomocą silnika elektrycznego za pośrednictwem przekładni pasowej i sprzęgła. Do regulacji i ustalenia prędkości obrotowej zastosowano falownik. Umieszczony w bębnie wsad materiału ziarnistego nawilżano zamienianiem za pomocą dwóch zestawów nawilżaczy (zraszacza kropłowego lub dwóch dysz pneumatycznych), wprowadzonych osiowo przez otwór w pokrywie do wnętrza aparatu. Układy nawilżające zamocowano na niezależnym statywie. Natężenie przepływu cieczy Q_c i powietrza Q_p przez pneumatyczną dyszę rozpyłową ustalano za pomocą przepływomierzy. Ciecz zwilżającą (wodę destylowaną) o każdorazowo ustalonej objętości podawano ze zbiornika, umieszczonego na wysokości 2,5 m od osi bębna, a powietrze dostarczano za pomocą sprężarki. Utrzymywano stały poziom wody w zbiorniku, co zapewniało stałe ciśnienie dostarczanej cieczy. Badaniom granulacji poddano nawóz NPK (Ca,S) 4-12-12 *Lubofoska*, wyprodukowany w *Zakładach Chemicznych LUVENA sp. z o.o.* [3]. Nawóz ten posiadał postać pylistą i został pozyskany z linii produkcyjnej przed etapem granulacji talerzowej.

Lubofoska jest nawozem wieloskładnikowym zawierającym 4% azotu amonowego (N), 12% pięciotlenku fosforu (P_2O_5), 12% tlenku potasu (K_2O). Wszystkie składniki są łatwo przyswajalne przez rośliny [4]. Podstawową zaletą wieloskładnikowych nawozów w postaci zgranulowanej jest to, że podstawowe składniki odżywcze, jak: azot, fosfor, potas, występują w odpowiednich proporcjach w każdej pojedynczej granulacji. Proces granulacji uzyskanych we wcześniejszych etapach wytwarzania (produkcji) mieszanek nawozowych nie powoduje segregacji poszczególnych składników.

W trakcie badań wstępnych wyznaczono skład ziarnowy surowca i średni rozmiar jego cząstek.

Rozkład wielkości ziaren surowca oraz średnicę zastępczą wyznaczono za pomocą laserowego analizatora wielkości ziaren *Analysette 22* firmy *FRITSCH*. Celem wyeliminowania ewentualnych grudek surowiec do badań przesiewano wstępnie na sitach o rozmiarach oczek 1mm.

Na podstawie badań wstępnych ustalono prędkość obrotową bębna granulatora oraz zakres zmian stopnia wypełnienia bębna materiałem

(surowcem). Kryterium, przyjętym przy doborze tych parametrów było zachowanie przesypanego charakteru ruchu złoza zapewniającego zsuwanie i toczenie cząstek (zachowanie ciągłości złoza) oraz niedopuszczenie do wypadania granulatu przez otwór czołowy w pokrywie bębna [4, 5]. Dobrano również zakres zmian wilgotności złoza, (objętości cieczy zwilżającej), przy którym uzyskiwano zadawalający przebieg procesu granulacji (dobre zgranulowanie, brak oblepiania ścianek bębna).

Metodyka badań

Proces granulacji podzielono na dwa etapy:

- etap granulacji podczas nawilżania materiału, nazywany dalej etapem nawilżania;
- etap granulacji po zakończeniu nawilżania nazywany dalej granulacją.

Badania prowadzono w sposób okresowy, każdorazowo przy ustalonych parametrach aparaturowo-procesowych.

Jako zmienne parametry stosowano:

- stopień wypełnienia bębna: $\phi = 10, 15$ i 20% co odpowiada masie wsadu odpowiednio 7,426; 11,139 i 14,852 kg,
- czas granulacji t ,
- wilgotność złoza w w zakresie $0,1-0,233$ [kg wody/kg s.m.].

Proces granulacji prowadzono przy stałej prędkości obrotowej bębna wynoszącej: $n = 15$ obr/min;

Do oceny składu ziarnowego granulowanego złoza pobierano z bębna reprezentatywne próbki wsadu; pierwszą bezpośrednio po zakończeniu nawilżania, a kolejne w stałych odstępach czasowych podczas etapu granulacji. Skład ziarnowy oznaczano na podstawie analizy sitowej prowadzonej na zestawie sit o rozmiarach oczek d_s : 12,5; 10; 8; 6,3; 5; 4; 3; 2; 1 mm. Poszczególne frakcje ziarnowe ważono, a następnie suszono w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 95°C przez czas 24 h. Przeprowadzono analizę wpływu badanych parametrów na skład ziarnowy granulowanego złoza po określonym czasie trwania procesu.

Wyniki badań

W trakcie procesu skład granulometryczny wsadu zmienia się w wyniku oddziaływań pomiędzy ziarnami surowca, powstałymi wcześniej zarodkami i kroplami cieczy zwilżającej. Początkowo tworzą się porowate aglomeraty, (zawierające w swojej objętości fazę gazową) o wilgotności wynikającej z parametrów procesowych, będące funkcją dominujących mechanizmów granulacji (nukleacji, nawarstwiania, koalescencji, kruszenia) [6, 7].

Mimo, że w trakcie ruchu przesypanego przetwarzanego złoza można zauważyć zarówno chwilowe zmniejszanie rozmiarów poszczególnych granulek, jak i ich zwiększanie, to w skali całego złoza, zdecydowaną przewagę mają mechanizmy narastania powodujące powstawanie kolejnych aglomeratów i wzrost ich wielkości w czasie trwania procesu. O jakości zgranulowanego materiału mówi nie tylko średni rozmiar cząstek, ale także jednorodność jego składu ziarnowego. Dla większości produktów w postaci zgranulowanej rozmiar utworzonych cząstek powinien się zawierać w dość wąskim nieraz zakresie. Dla granulowanych nawozów sztucznych pożądany rozmiar cząstek powinien najczęściej zawierać się w zakresie 2 do 6 mm.

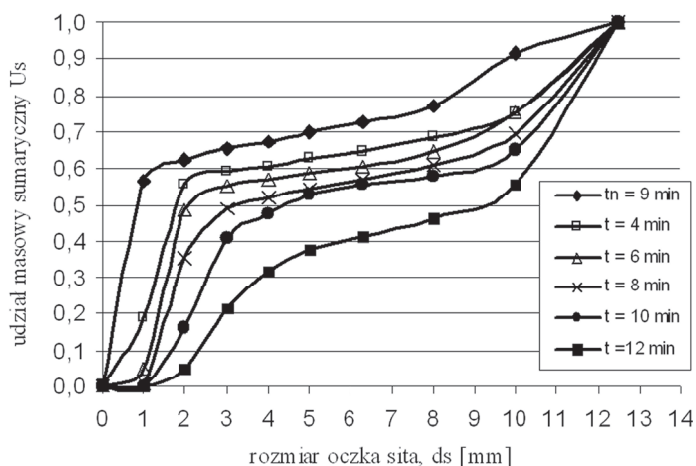
Przykładowe porównanie sumarycznych składów granulometrycznych złoza dla różnych czasów granulacji przedstawiono na rys. 1.

Zmiany przebiegu krzywych rozkładów masowo-rozmiarowych wsadu w czasie pozwalają na analizę postępu granulacji. Dla próby zilustrowanej na rys. 1, po etapie nawilżania (trwającym $t_n = 9$ min.), ponad 60% wsadu stanowił surowiec niezgranulowany ($d < 1$ mm). Po dalszych 4 min. granulacji materiał niezgranulowany stanowił już tylko 20% masy, a po następnych 4 min. cały surowiec miał postać granulatu. W celach poznawczych prowadzono proces dalej, do chwili, gdy łączny czas granulacji wynosił 21 min. Produkt otrzymany po tym czasie był w całości zgranulowany, ale udział pożądaných frakcji wymiarowych stanowił zaledwie 35%, a pozostałą częścią produktu było głównie nadziarno. Uzyskane wyniki świadczą o tym, że dla parametrów stosowanych w opisanej próbie, niezależnie od czasu granulacji nie uzyskano by zadawalającego rezultatu. Udział nadziarna wynosił dla poszczególnych czasów granulacji 30–60%, co należy uznać za wynik niezadawalający.

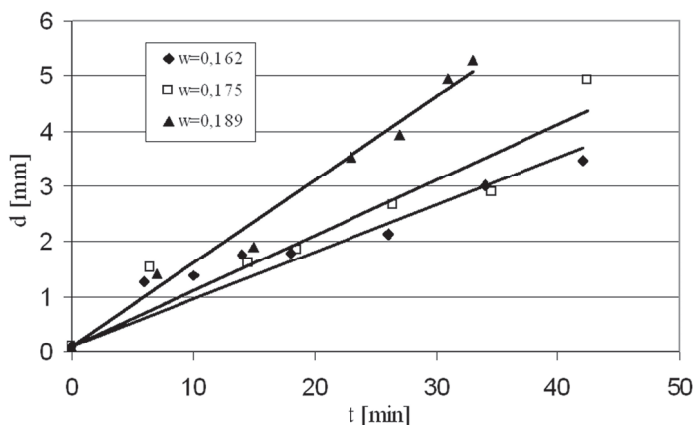
Analiza wyników badań wykonanych dla innych parametrów aparaturowo – procesowych pozwoliła stwierdzić, że poprzez zmiany sposobu nawilżania można uzyskać produkt, którego parametry bardziej odpowiadają wymaganiom handlowym.

Zmiany składu granulometrycznego w czasie procesu można również opisać wykorzystując średni rozmiar cząstek w złożu d . Na rys. 2 przedstawiono przykładowo wpływ wilgotności złoża na kinetykę wzrostu granул wyrażaną zmianami ich rozmiaru średniego (średniej średnicy) w czasie.

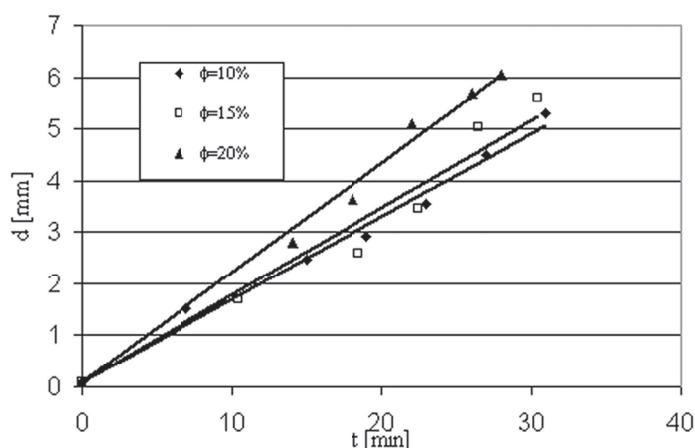
Zależności przedstawione na rys. 2 wykazują, że dla przebadanych wilgotności wsadu średni rozmiar granул wzrasta z czasem granulacji. Uzyskane wyniki zmian średniego rozmiaru granул w czasie można przybliżyć rosnącą funkcją liniową. Szybkość tego wzrostu rośnie wraz z objętością cieczy wiążącej dostarczonej do złoża na etapie nawilżania (wilgotnością złoża). Ze wzrostem objętości dodanej cieczy (wilgotności) zwiększa się liczba kropeł spadających na złożę mogących



Rys. 1. Porównanie składów ziarnowych wsadu dla różnych czasów granulacji ($w = 0,162$; $\phi = 15\%$, nawilżanie kropłowe)



Rys. 2. Zmiana średniego wymiaru granulowanego produktu w czasie dla różnych wilgotności wsadu ($\phi = 10\%$, $Q_p = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$)



Rys. 3. Wpływ czasu nawilżania (granulacji) na wartość średniego rozmiaru cząstek dla różnych wypełnień bębna granulatora ($w = 0,175$, $Q_p = 1 \text{ m}^3/\text{h}$)

inicjować powstawanie zarodków granул, a następnie przyspieszać ich systematyczny wzrost.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wpływ na kinetykę wzrostu wykazuje również objętość (masa) surowca poddawanej granulacji, którą scharakteryzowano za pomocą stopnia wypełnienia bębna ϕ rozumianego jako stosunek objętości surowca do objętości wewnętrznej bębna.

Na rys. 3 przedstawiono przykładowo zależność wzrostu średniego rozmiaru granул w czasie dla trzech wartości stopnia wypełnienia.

Stwierdzono, że zwiększenie wypełnienia bębna surowcem, przy ustalonych pozostałych parametrach powoduje szybszy wzrost rozmiarów powstających granул. Można to tłumaczyć zwiększającym się wraz z objętością wsadu prawdopodobieństwem kontaktu poszczególnych cząstek złoża, co umożliwia ich łączenie i wzrost. Na kinetykę procesu może mieć w tym przypadku wpływ także odmienna dynamika przesypanych się w bębnie wsadu (wynikająca z innej masy), co może rzutować na wzajemne oddziaływanie pomiędzy cząstkami. Interesujące jest to, że szybciej, a to istotny aspekt ekonomiczny granuluje się złożę, którego jest w aparacie więcej. Ograniczeniem w zwiększaniu stopnia wypełnienia jest zmiana charakteru ruchu materiału ziarnistego. Zbyt duża masa wsadu powoduje przejście w ruch kataraktowy, zanikanie jego ciągliwości (brak otaczania), a ponadto materiał wysypuje się przez otwór czołowy bębna (aspekt konstrukcyjny).

Wnioski

Przeprowadzone badania bębnowej granulacji nawozu *Lubofoska* wykazały, że:

1. Szybkość przyrostu średniego rozmiaru cząstek w czasie trwania procesu granulacji rośnie wraz ze wzrostem wilgotności granulowanego materiału.
2. Przyrost średniego rozmiaru granул jest większy dla większych wartości stopnia wypełnienia bębna.
3. Zmiany średniego rozmiaru cząstek granulatu w czasie procesu można z dobrą dokładnością przybliżyć funkcją liniową.
4. Powyższe obserwacje potwierdziły się dla różnych parametrów rozbitcia strugi.

LITERATURA

- [1] T. Gluba: Inż. Ap. Chem., **42**, nr 3s, 43 (2003).
- [2] T. Gluba, A. Obraniak: Zesz. Nauk. PŁ, Inż. Chem., **779**, z. 21, 51 (1997).
- [3] LUBOFOSKA 5-10-15, Zakł. Chem. LUVENA, 2010: <http://www.luvena.pl/page.php/1/0/show/387/>
- [4] P.C. Kapur, S. Ranjan, D.W. Fuerstenau: Int. J. Miner. Proc., **36**: 9 (1992).
- [5] A. Obraniak: Praca doktorska, 2002, Wydział Inż. Proc. i Ochr. Środ. PŁ.
- [6] K. Sastry, D.W. Fuerstenau: Powder Tech., **7**, 97 (1973).
- [7] P.C. Kapur, D.W. Fuerstenau: Ind. Eng. Proc. Design Develop. **5**, 5 (1966).

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Nr N N209 096135.