

Andrzej HEIM*

MONODYSPERSYJNOŚĆ UKŁADÓW MIELONYCH W MŁYNACH PERELKOWYCH

Przedstawiono wyniki rozdrabniania na mokro barwnika o nazwie Granat Syntenowy P-BL w laboratoryjnych młynach perelkowych dwóch konstrukcji: pionowym z mieszadłem wielotarcowym oraz z mieszadłem kielichowym. Zmiany stanów granulometrycznych materiału w czasie mielenia opisano za pomocą momentów zmiennych losowych i ich funkcji. Na ich podstawie wyciągnięto wnioski dotyczące mechanizmów rozdrabniania w obu młynach.

1. WPROWADZENIE

Zapotrzebowanie na monodispersyjne układy ziarniste o wysokim stopniu rozdrobnienia występuje m.in. w przemyśle farmaceutycznym przy wytwarzaniu spieków ceramicznych, wieloskładnikowych nawozów sztucznych, barwników zawieszinowych. Wielkość ziaren ma w tych przypadkach zasadnicze znaczenie dla jakości proszku czy jego zawiesiny, a przykładowo dla leków czy nawozów sztucznych decyduje o ich działaniu. Układy wieloskładnikowe wymagają zwykle wysokiego stopnia zmieszania i braku tendencji do segregacji, której sprzyja rozrzut wielkości cząstek. Ponadto wiadomo, że proszki o cząstkach większych ale o mniejszym rozrzucie wielkości ziaren tworzą trwalsze zawiesiny (trudniej sedymentują) niż proszki o rozdrobnieniu większym, których cząstki mają dużą rozpiętość wymiarów. Te właśnie wymagania odnośnie produktu mielenia trzeba uwzględnić przy wyborze metody i urządzenia rozdrabniającego.

Jednym ze sposobów rozdrabniania, w którym otrzymuje się ziarna o wymiarach kilku mikrometrów, jest mokre mielenie w młynach perelkowych. Zbiornik takiego młyna jest wypełniony kuleczkami o średnicy rzędu 1 mm, między którymi w czasie cyrkulacji wsadu wywołanego mieszadłem odbywa się rozdrabnianie. Z różnym udziałem występuje tutaj kilka mechanizmów rozdrabniania: ścieranie, ścinanie, zgniatanie, uderzanie.

Klasyczną konstrukcją młyna perelkowego stanowi zbiornik cylindrycz-

* Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Łódzkiej,
Łódź

ny (pionowy bądź poziomy), wewnątrz którego jest umieszczone mieszadło w formie zamocowanych na wale tarcz (rys. 1a,b). Młyny laboratoryjne o małej pojemności są budowane jako periodyczne, natomiast większe do pracy ciągłej (z przepływem zawiesiny mielonego materiału przez młyn). W tym drugim przypadku pożądane jest, aby rozkład czasów przebywania był możliwie zbliżony do przepływu tłokowego. Prawdopodobieństwo rozdrobnienia każdej cząstki ciała stałego jest wtedy podobne.

Nowymi konstrukcjami są młyny wąskoszczelinowe, w których komorę roboczą stanowią pierścieniowe przestrzenie o szerokości równej kilku średnicom kulek rozdrabniających. Można do nich zaliczyć młyn CoBall-Mill [4] (rys. 1c) oraz młyny z mieszadłem cylindrycznym zamkniętym (rys. 1d) i mieszadłem kielichowym (rys. 1e), skonstruowane w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Łódzkiej [1-3].

2. CEL PRACY

Prowadzone od kilkunastu lat w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Łódzkiej prace dały podstawę do skonstruowania nowych młynów, których prototypy następnie poddano próbom i badaniom. Jedną z efektywniejszych konstrukcji okazał się młyn z mieszadłem kielichowym. Celem niniejszej pracy było porównanie uzyskiwanych efektów mielenia w takim właśnie młynie z rezultatami otrzymywania w klasycznym młynie pionowym z mieszadłem wielotarczowym. Ponieważ jednym z typowych zastosowań młynów perełkowych jest przemysł barwnikarski, gdzie do rozdrabniania ziaren barwników są stosowane właśnie takie urządzenia, postanowiono próby porównawcze wykonać dla wodnej zawiesiny barwnika syntetowego z udziałem odpowiednich dyspergatorów.

3. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

3.1. Zakres badań

Badania porównawcze wykonano w skali laboratoryjnej, w młynach o pojemności ok. 1 dm^3 . Zbiornik młyna z mieszadłem kielichowym posiadał średnicę $D = 0,095 \text{ m}$ i wysokość $H = 0,24 \text{ m}$, natomiast wymiary mieszadła wynosiły $\phi 0,068 \text{ m}$ ($\phi 0,063 \text{ m} \times 0,235 \text{ m}$) przy średnicy rdzenia wewnętrznego $\phi 0,042 \text{ m}$. Uzyskiwane szerokości szczelin wynosiły więc: $13,5 \text{ mm}$ (zewnętrzna) i $9,5 \text{ mm}$ (wewnętrzna). Zbiornik młyna z mieszadłem wielotarczowym miał wymiary $\phi 0,085 \text{ m} \times 0,24 \text{ m}$. Na wale, równomiernie rozmieszczonych wzdłuż wysokości, osadzonych było 9 tarcz, $\phi 0,078 \text{ m} / 0,004 \text{ m}$.

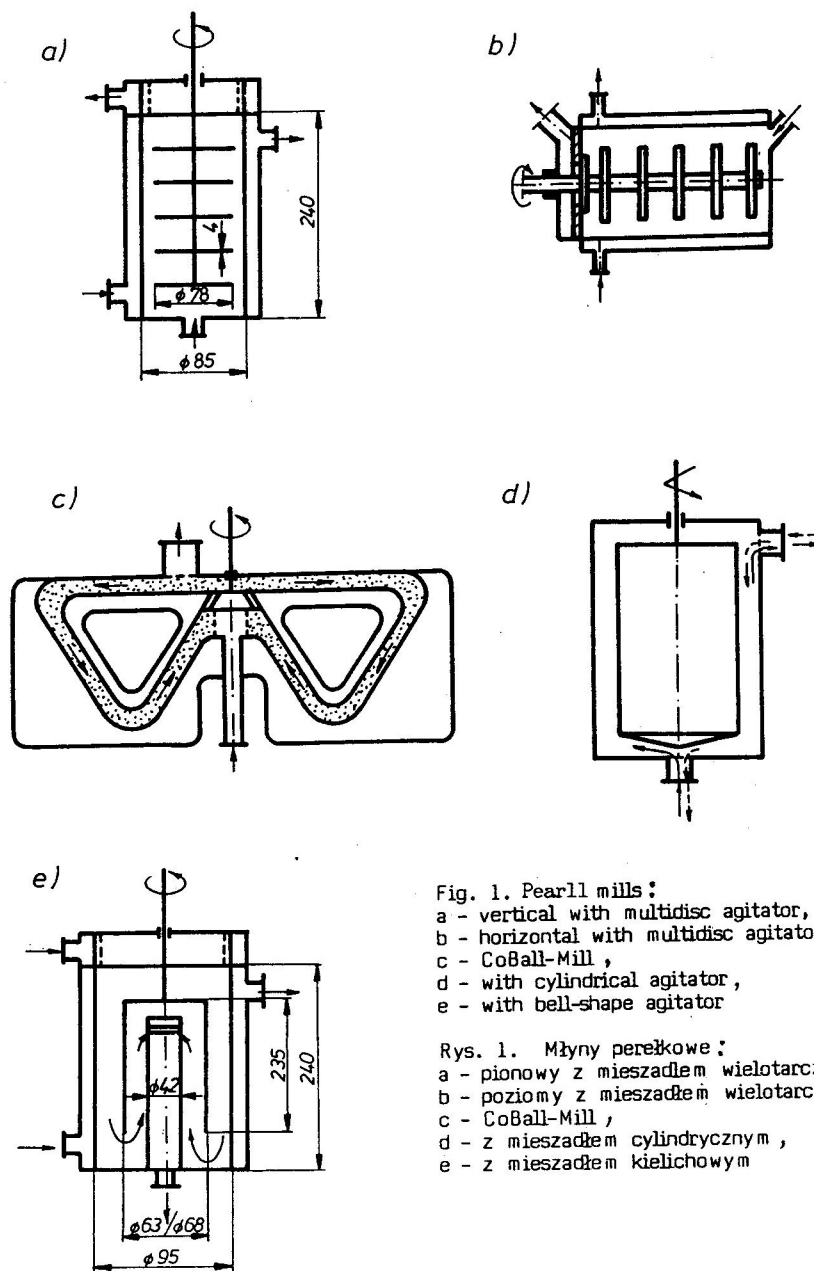


Fig. 1. Pearl mills:

- a - vertical with multidisc agitator,
- b - horizontal with multidisc agitator,
- c - CoBall-Mill,
- d - with cylindrical agitator,
- e - with bell-shape agitator

Rys. 1. Młyny perełkowe:

- a - pionowy z mieszadłem wielotarczowym,
- b - poziomy z mieszadłem wielotarczowym,
- c - CoBall-Mill,
- d - z mieszadłem cylindrycznym,
- e - z mieszadłem kielichowym

Próby rozdrabniania wykonywano dla ustalonych we wcześniejszych badaniach optymalnych parametrach procesowych, których wartości zebrano w tab. 1.

Tabela 1. Parametry procesowe stosowane dla obu młynów w czasie prób mielenia

Parametr	Młyn pionowy z miesz. wielotarczowym	Młyn z mieszadłem kielichowym
Częstość obrotowa mieszadła [s^{-1}]	44	25
Prędkość obwodowa krańcowych punktów mieszadła [m/s]	10,8	5,34
Stopień wypełnie- nia młyna kulkami	0,6	0,7
Średnica kulek [mm]	1,0-1,2	1,0-1,2

Skład zawiesiny barwnika do prób mielenia był następujący:

Granat syntenowy P-BL	- 14,3%
Dyspergator NNO	- 21,3%
Dyspergator S-65	- 4,4%
Woda	- 60%

3.2. Metodyka badań i opracowanie danych doświadczalnych

Próby mielenia wykonano w układzie periodycznym, pobierając z młyna, w ustalonych odstępach czasu, próbki zawiesiny do oceny stopnia rozdrabniania. Analizę stanu granulometrycznego ziaren barwnika w zawieszynie dokonywano przy użyciu licznika ziaren, zliczającego cząstki w odpowiednich zakresach wielkości. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie procentowych udziałów masowych ziaren w poszczególnych przedziałach rozmiarowych $p(x,t)$ oraz sumarycznych, masowych udziałów procentowych ziaren o wymiarach mniejszych od x - $P(x,t)$. Dla liczbowego scharakteryzowania zmiany w czasie składu granulometrycznego mielonego materiału obliczano dla każdego analizowanego składu: moment zerowy pierwszego rzędu (m_1), momenty centralne (M) oraz współczynniki: spłaszczenia (K_1) i asymetrii (K_2). Stosowano przy tym wzory:

$$m_1 = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (1)$$

$$M_k = \sum_{i=1}^n (x_i - m_1)^k p_i \quad (2)$$

Tabela 2. Wyniki mielenia w badanych młynach

Lp.	x	x _{gr}	p[%] dla t[s]					P[%] dla t[s]				
			[µm]	[µs]	600	1200	1800	2700	3600	600	1200	1800
Młyn pionowy z mieszadłem wielotarczowym												
1	do 3	1.5	42	45.5	49	52.5	57	42	45.5	49	52.5	57
2	3÷4	3.5	17.5	17.5	17.5	19.5	19.5	59.5	63	66.5	72	76.5
3	4÷5	4.5	14.5	14.5	13	12	11	74	77.5	79.5	84	87.5
4	5÷6	5.5	9.5	9.5	9	7	6	83.5	87	88.5	91	93.5
5	6÷7	6.5	8.5	6.5	6	5	3.5	92	93.5	94.5	96	97
6	7÷8	7.5	4	3	3.5	3	2	96	96.5	98	99	99
7	8÷9	8.5	2.5	2.5	2	1	1	98.5	99	100	100	100
8	9÷10	9.5	1.5	1	0	0	0	100	100	100	100	100
9	10÷13	11.5	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
10	13÷17	15	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
m ₁			3.63	3.43	3.25	3.03	2.83					
M ₂			4.76	4.39	3.99	3.46	3.06					
M ₃			6.91	7.15	6.3	5.98	5.96					
M ₄			56.5	52.35	40.53	34.23	31.93					
K ₁			2.49	2.72	2.55	2.86	3.41					
K ₂			0.67	0.78	0.79	0.93	1.11					
Młyn z mieszadłem kielichowym												
1	do 3	1.5	25	29.5	33	36.5	40	25	29.5	33	36.5	40
2	3÷4	3.5	13.5	14	16.5	18	19	38.5	43.5	49.5	54.5	59
3	4÷5	4.5	10	11	13	13.5	12.5	48.5	54.5	62.5	68	71.5
4	5÷6	5.5	10	10.5	10	8.5	7.5	58.5	65	72.5	76.5	79
5	6÷7	6.5	9	9	8	7.5	7.5	67.5	74	80.5	84	86.5
6	7÷8	7.5	6.5	6	5.5	5	4.5	74	80	86	89	91
7	8÷9	8.5	5.5	5.5	4	4	3.5	79.5	85.5	90	93	94.5
8	9÷10	9.5	7.5	6.5	5	4	3.5	87	92	95	97	98
9	10÷13	11.5	6	5	4	3	2	93	97	99	100	100
10	13÷17	15	7	3	1	0	0	100	100	100	100	100
m ₁			5.84	5.15	4.57	4.18	3.93					
M ₂			15.05	11.64	9	7.31	6.65					
M ₃			47.3	34.89	25.37	16.9	15.94					
M ₄			664.1	449.4	284.4	159.4	139.6					
K ₁			2.93	3.32	3.51	2.99	3.15					
K ₂			0.81	0.88	0.94	0.86	0.93					

$$K_1 = \frac{M_4}{(M_2)^2} \quad (3) \quad K_2 = \frac{M_3}{(M_2)^{3/2}} \quad (4)$$

gdzie i - liczba przedziałów rozmiarowych,
 k - rząd momentu centralnego.

Wszystkie wyniki zebrano w tab. 2.

3.3. Omówienie wyników i wnioski

Przedstawione w tab. 2 rezultaty pozwalają na szeroką analizę porównawczą wyników rozdrabniania w młynach obu typów. Dla wszystkich czasów mielenia średnie wymiary ziaren (wartości m_1) ucieranych w młynie z mieszadłem kielichowym są niższe niż w młynie z mieszadłem wielotarczowym. Również wymiary największych, występujących w zawieszynie w czasie mielenia ziaren, jest mniejszy w przypadku młyna z mieszadłem kielichowym. Przykładowo w młynie tej konstrukcji po czasie mielenia 1800 s nie ma ziaren większych od $8\mu\text{m}$, natomiast w młynie z mieszadłem wielotarczowym występują ziarna o wymiarach do $17\mu\text{m}$.

Interesująco zmieniają się w czasie mielenia wartości współczynników K_1 i K_2 . Dla młyna z mieszadłem wielotarczowym współczynnik spłaszczenia K_1 waha się w niewielkim zakresie bez tendencji do wzrostu, natomiast w przypadku młyna z mieszadłem kielichowym obserwuje się pewien wzrost jego wartości, co oznacza zawężenie zakresu zmienności wymiarów ziaren. Ponadto w początkowym okresie mielenia wartości K_1 dla młyna z mieszadłem wielotarczowym są wyższe niż dla młyna z mieszadłem kielichowym. Po czasie mielenia 3600 s sytuacja jest odwrotna. Podobnie wygląda porównanie wartości współczynnika K_2 . Są one w pierwszym okresie rozdrabniania niższe dla młyna z mieszadłem kielichowym, ale obserwujemy tutaj bardzo wyraźny wzrost. W przypadku młyna z mieszadłem wielotarczowym początkowe wartości K_2 są wysokie, ale bez tendencji do wzrostu po 1800 s mielenia.

Otrzymane wyniki sugerują, że w młynie z mieszadłem wielotarczowym dominuje mechanizm rozbijania ziaren, a produkt trafia do wszystkich wyższych przedziałów rozmiarowych. W młynie z mieszadłem kielichowym natomiast największy udział w rozdrabnianiu posiada mechanizm ścierania. Produktem jest ziarno spadające do sąsiedniego, wyższego zakresu rozmiarowego i bardzo drobne ziarna przechodzące do klasy najwyższej, o najmniejszych rozmiarach cząsteczek.

LITERATURA

- [1] Heim A., Sitarek R. Młyn perełkowy z mieszadłem cylindrycznym. Inż. i Aparat. Chem. 5/84, 24-26.
- [2] Młyn perełkowy, patent PRL nr 126 021 z dn. 15.04.1985.
- [3] Młyn perełkowy, patent RP nr 152 505 z dn. 12.06.1991.
- [4] Prospekt firmy FRYMA-Maschinen AG nr MS 1001

Heim A., 1992. Monodispersity of Substances Ground in Pearl Mills. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 26, 49-55 (polish text).

Wet grinding of a synten dry in two types of laboratory pearl mills (one with a vertical multidisc agitator and the other with a bell-shape agitator) was discussed. Changes in particle size distribution during grinding were described using the moments of random variables: ordinary moment and central moments of the order of 2-4, as well as their functions: concentration coefficient and distribution asymmetry coefficient. It was found that in the mill with a multidisc agitator particles were shattered, while in the mill equipped with a bell-shape agitator, abrasion was the prevailing mechanism of particle grinding.