

DANIEL ZBROŃSKI*, ALEKSANDRA GÓRECKA-ZBROŃSKA*

Analiza oddziaływania wybranych parametrów procesu na osiągi młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego. Część I: Wydajność młyna

Słowa kluczowe

Mielenie, fluidyzacja, młyn strumieniowo-fluidyzacyjny, wydajność młyna, kamień wapienny

Streszczenie

W artykule zaprezentowano podstawy teoretyczne i wyniki badań rozdrabniania próbek kamienia wapiennego w warunkach burzliwej warstwy fluidalnej młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego. Celem badań było ustalenie wpływu wybranych parametrów procesu, takich jak: masa i uziarnienie nadawy, nadciśnienie powietrza roboczego, prędkość obrotowa wirnika klasyfikatora przepływowego i czas trwania mielenia na uzyskaną wydajność młyna (część I artykułu) oraz na skład ziarnowy produktu mielenia (część II artykułu).

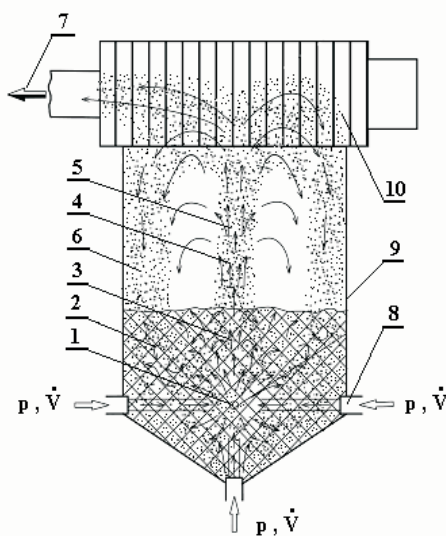
Wprowadzenie

Obserwowane od lat zainteresowanie nowoczesnymi technologiami mechanicznej przeróbki materiałów stałych wynika z konieczności zapewnienia ekologicznie bezpiecznego i ekonomicznie uzasadnionego przetwarzania substancji pochodzenia mineralnego i organicznego oraz materiałów przemysłowych i surowców odpadowych (Koch, Noworyta 1992; Stiess 1995). Stosowane obecnie technologie nie zawsze umożliwiają uzyskanieżądanego efektu końcowego. Dlatego też podejmowane w tym względzie działania zmierzają głównie do poszukiwania takich warunków pracy przemysłowych urządzeń rozdrabniających, jakie

* Dr inż., Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Katedra Kotłów i Termodynamiki, Politechnika Częstochowska, Częstochowa; e-mail: zbronski@kkt.pcz.czyst.pl

z jednej strony zapewnią gwarantowane parametry i czystość uziarnienia otrzymanych produktów mielenia, z drugiej zaś zmniejszenie energochłonności procesu i poprawę wymagań dotyczących ochrony środowiska naturalnego (Korzeń, Rink 1999).

W ostatnim okresie duże nadzieje wiąże się z badaniami procesu rozdrabniania materiałów ziarnistych w warunkach wysokoenergetycznej warstwy fluidalnej. Proces ten polega na wytworzeniu ogniska zderzeń przeciwstrumieni powietrznych w nieruchomej warstwie, inicjującego powstanie i utrzymanie stanu fluidyzacji burzliwej w komorze mielenia młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego. W dolnej strefie warstwy fluidalnej występuje stan fluidyzacji pulsacyjnej, w górnej zaś – stan fluidyzacji fontannowej. W strefie fluidyzacji pulsacyjnej powstają obszary pęcherzy gazowych i aglomeratów ziarnowych, które intensyfikują mieszanie i rozdrabnianie ziaren. Natomiast w strefie fluidyzacji fontannowej obserwuje się unoszenie ziaren w obszarze dużych prędkości w rdzeniu komory, a następnie grawitacyjne opadanie grubszych ziaren w strefie małych prędkości w pobliżu ścian, bądź trwałe porywanie drobnych ziaren do układu separacji zewnętrznej przez strumień przepływającego powietrza. Taki rozkład stref fluidyzacji zapewnia powstanie wysokoenergetycznej warstwy fluidalnej, która gwarantuje efektywne rozdrabnianie badanego materiału ziarnistego (Korzeń i in. 1997; Zbroński 2005). Na rysunku 1 przedstawiono obszary



Rys. 1. Zjawiska występujące w komorze mielenia młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego
 1 – ognisko zderzeń przeciwstrumieni powietrznych, 2 – obszar burzliwej warstwy fluidalnej, 3 – strefa fluidyzacji pulsacyjnej, 4 – strefa fluidyzacji fontannowej, 5 – fontannowy unos ziaren, 6 – zawrót ziaren grubych, 7 – wylot produktu mielenia, 8 – dysze powietrzne, 9 – komora mielenia, 10 – przepływowy klasyfikator wirnikowy

Fig. 1. Phenomena occurred in the grinding chamber of the fluidized bed opposed jet mill
 1 – collision source of air counter-fluxes, 2 – zone of turbulent fluidized layer, 3 – zone of pulsatory fluidization, 4 – zone of fountain fluidization, 5 – fountain carryover of the grains, 6 – reversal of coarse grains, 7 – outlet of milling product and air, 8 – air nozzles, 9 – grinding chamber, 10 – rotational flow classifier

występowania wspomnianych zjawisk w komorze mielenia młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego.

Młyny strumieniowo-fluidyzacyjne stosowane w wielu gałęziach przemysłu od ponad 15 lat (przemysł farmaceutyczny, chemiczny, spożywczy, przeróbki minerałów itp.) produkowane są przez znane firmy, między innymi: Netzsch, Hosokawa-Alpine i Kurimoto. W odniesieniu do innych typów młynów strumieniowych urządzenia te wykazują następujące korzyści: wysoki stopień rozdrobnienia, małe zużycie energii, niski poziom hałasu, znikome zużycie materiałów i niewielkie gabaryty urządzenia (Vogel 1991). Jednakże projektowanie i przewidywanie osiągnięć tego typu urządzeń w dużej mierze oparte jest na złożonych badaniach eksperymentalnych, które prowadzone są między innymi: w Niemczech (Vogel 1991; Stiess 1995; Benz i in. 1996), we Francji (Berthiaux i Dodds 1999; Godet-Morand i in. 2002), w Wielkiej Brytanii (Tasirin i Geldart 1999), w USA (Hogg 1999), w Japonii (Wang i in. 1999), w Chinach (Zhang i in. 2003) i w Polsce (Korzeń i in. 1997–1999; Rink i Konieczny 1997; Zbroński i in. 2005–2006). Głównym celem realizowanych badań jest optymalizacja procesu rozdrabniania i klasyfikacji oraz ustalenie wpływu istotnych parametrów na uzyskany produkt mielenia.

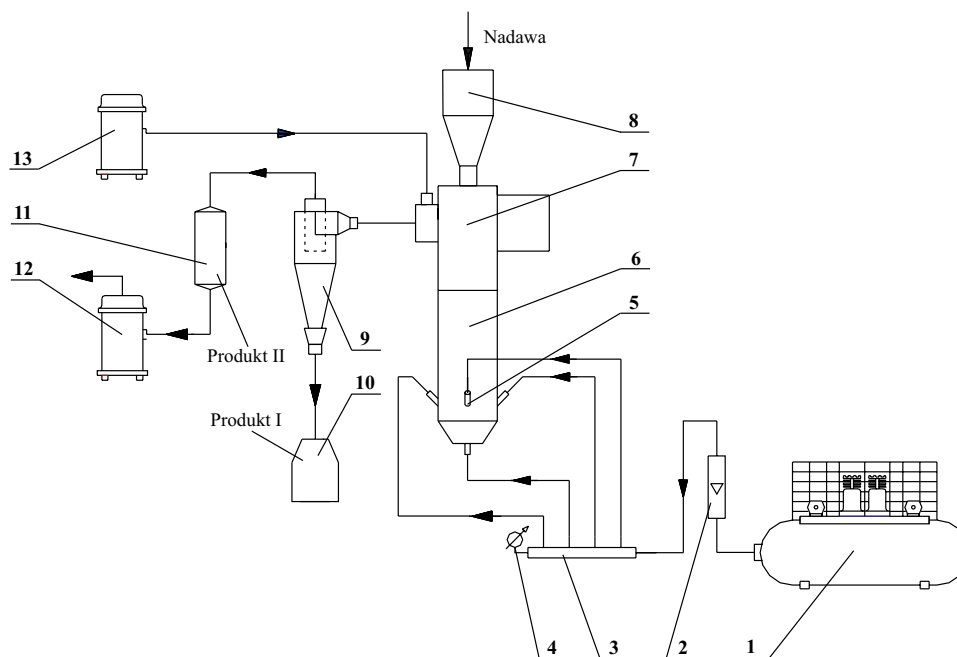
1. Cel i zakres badań

Celem podjętych badań było ustalenie wpływu wybranych parametrów procesu na uzyskaną wydajność młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego. Zakres pracy obejmował przeprowadzenie badań wstępnych i zasadniczych (Zbroński 2005). Badania wstępne potwierdziły poprawną pracę młyna, pozwoliły ustalić zakres zmiany parametrów procesu i określić skuteczność rozdrabniania wybranych materiałów ziarnistych (kamień wapienny, piasek kwarcowy, korund). Badania zasadnicze umożliwiły ustalenie oddziaływania takich parametrów procesu, jak: początkowe uziarnienie nadawy, początkowa masa zasypowa nadawy, nadciśnienie powietrza roboczego, prędkość obrotowa wirnika klasyfikatora przepływowego i czas trwania mielenia na uzyskaną wydajność młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego (część I artykułu) oraz na skład ziarnowy produktu mielenia (część II artykułu).

2. Opis stanowiska badawczego

Eksperymentalny charakter badań wymagał przygotowania stanowiska badawczego, którego schemat przedstawiono na rysunku 2.

Podstawowym elementem stanowiska jest laboratoryjny młyn strumieniowo-fluidyzacyjny. Strumienie powietrza zasilające stanowisko badawcze generowane są jako powietrze robocze – przez sprężarkę tłokową 1 oraz powietrze uszczelniające – przez dodatkowe urządzenie tłoczące 13. Nadawa materiału ziarnistego o ustalonej granulacji podawana jest grawitacyjnie ze zbiornika zasypowego 8 do cylindrycznej komory mielenia młyna 6, gdzie



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

1 – sprężarka tłokowa, 2 – rotametr, 3 – kolektor powietrza roboczego, 4 – manometr sprężysty, 5 – dysze powietrzne, 6 – komora mielenia, 7 – przepływowy klasyfikator wirnikowy, 8 – zbiornik zasypowy nadawy, 9 – cyklon, 10 – zbiornik produktu mielenia I, 11 – filtr tkaninowy (produkt mielenia II), 12 – urządzenie wyciągowe, 13 – dodatkowe urządzenie tłoczące

Fig. 2. Schematic diagram of the experimental stand

1 – compressor, 2 – rotameter, 3 – collector of working air, 4 – elastic pressure gauge, 5 – air nozzles, 6 – grinding chamber of the mill, 7 – rotational flow classifier with electric motor, 8 – filling container of the fed material, 9 – cyclone, 10 – container of milling product I, 11 – cloth filter (milling product II), 12 – vacuum cleaner, 13 – pressure fan

ulega ona intensywnej fluidyzacji za pośrednictwem zespołu dysz powietrznych 5, koncentrycznie wdmuchujących strumień powietrza o sterowanym wydatku i naciśnieniu. Pomiar strumienia objętości powietrza roboczego umożliwi rotametr 2, zaś pomiar naciśnienia – manometr sprężysty 4. Symetryczna konstrukcja kolektora powietrznego 3 zapewnia jednakowy rozdział powietrza na poszczególne dysze. Klasyfikator przepływowy 7 dzięki możliwości automatycznej regulacji prędkości obrotowej wirnika zapewnia wstępny rozdział produktu na klasę drobną (unoszoną do cyklonu) oraz klasę grubą (nawracaną do komory mielenia) na poziomie żadanego ziarna granicznego. W cyklonie 9 następuje rozdział dwufazowej mieszaniny wypływającej z klasyfikatora na strumień produktu mielenia I, kierowany do zbiornika odbiorczego 10, oraz strumień zapyłonego powietrza roboczego, kierowany do filtra tkaninowego 11 (produkt mielenia II). Produkty mielenia (I + II) stanowią całkowity produkt mielenia strumieniowo-fluidalnego. Podciśnienie w układzie zapewnia urządzenie wyciągowe 12.

3. Metodyka badań

Przyjęta metodyka badań eksperymentalnych obejmowała: właściwy dobór i przygotowanie materiału ziarnistego, ustalenie zakresu i sposobu realizacji prób mielenia oraz wyznaczenie masy nadawy i produktu mielenia. Do badań użyto kamienia wapiennego pochodzącego z Kopalni Wapienia „Czatkowice” w Krzeszowicach, charakteryzującego się dużą podatnością na rozdrabnianie i szerokim zastosowaniem w przemyśle. W celu uzyskania wąskich klas ziarnowych nadawy kamień wapienny przesiano za pomocą zestawu znormalizowanych sit wykorzystując wstrząsarke mechaniczną firmy Retsch. Podczas badań próbki nadawy: N1 (400–630) μm , N2 (500–800) μm , N3 (630–1000) μm i N4 (800–1250) μm poddawano kolejno okresowemu procesowi strumieniowo-fluidalnego rozdrabniania. Badania przeprowadzono dla próbek nadawy o masach $m_n = 1500$ g, 3000 g i 4500 g, przy nadciśnieniu powietrza roboczego wynoszącym $p_n = 150$ kPa, 250 kPa i 350 kPa i prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora wynoszącej $n = 2000$ 1/min, 4000 1/min i 6000 1/min. Próby zrealizowano dla wstępnie dobranych parametrów: optymalna konfiguracja dysz powietrznych (3 dysze pochylone pod kątem 30° do poziomu, równomiernie rozmieszczone na obwodzie komory mielenia i 1 dysza umieszczona pionowo od dołu) (Rink, Konieczny 1997), strumień objętości powietrza roboczego $\dot{V} = 80$ m³/h i czas mielenia $\tau = 0$ –30 min i 30–60 min. Ponadto, zmierzono także parametry otoczenia: ciśnienie $p_{ot} = 995$ hPa, temperaturę $t_{ot} = 25$ °C i wilgotność powietrza $\varphi_{ot} = 55\%$. Przebieg poszczególnych prób mielenia był następujący. Porcję nadawy N o znanej masie początkowej m_n wsypywano do komory mielenia młyna, uruchamiano klasyfikator wirnikowy do żądanej wartości prędkości obrotowej n i sprężarkę tłokową do ustalonej wartości nadciśnienia powietrza roboczego p_n . Na końcu włączano urządzenie wyciągowe i dodatkowe urządzenie tłoczące, uszczelniające wirnik klasyfikatora. Po każdej próbie stanowisko badawcze było wyłączane i czyszczone. Zmielony materiał z komory młyna oraz ze zbiornika pod cyklonem (produkt I) i z filtra tkaninowego (produkt II) ważono na elektronicznej wadze laboratoryjnej AD 2000 firmy Axis z dokładnością do 0,01 g (część I artykułu), a następnie w całości poddawano analizie granulometrycznej na przesiewaczu sitowym AS 200 Control firmy Retach (część II artykułu). Pomiary składu ziarnowego przeprowadzono w oparciu o normę PN-71/C-04501, określającą warunki i sposób wykonania analizy sitowej substancji ziarnistej na sucho. Wyznaczone rozkłady ziarnowe poszczególnych produktów umożliwiły ocenę skuteczności przeprowadzonych prób mielenia.

4. Wyniki badań

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wyniki pomiaru masy produktu mielenia, pochodzącego z cyklonu (produkt I) i z filtra (produkt II), otrzymanego po czasie $\tau = 30$ min i 60 min rozdrabniania próbek nadawy kamienia wapiennego w młynie strumieniowo-flui-

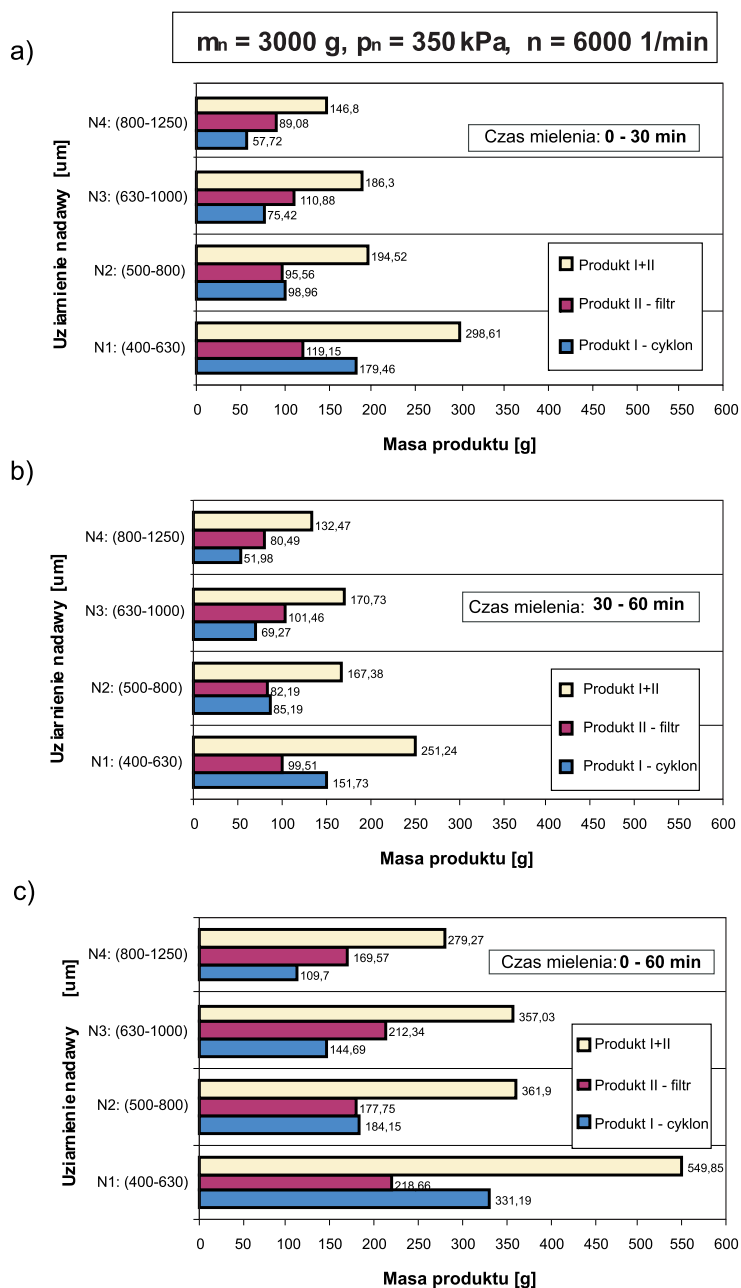
dyzycyjnym. Na ich podstawie stwierdzono, że czas trwania mielenia kamienia wapiennego wpływa na wydajność młyna. Dla wszystkich badanych próbek wydajność młyna była wyższa w pierwszym okresie mielenia ($\tau = 0\text{--}30$ min), niż w kolejnym ($\tau = 30\text{--}60$ min), co przykładowo przedstawiono na rysunku 3a i 3b. Oznacza to, że w początkowym okresie mielenia zachodziło szybsze rozdrabnianie ziaren kamienia wapiennego, który posiadał więcej nierówności i pęknięć powierzchniowych (Zbroński 2005).

4.1. Wpływ początkowego uziarnienia nadawy na wydajność młyna

Podczas próby mielenia zachowano stałą wartość następujących parametrów procesu: początkowa masa nadawy $m_n = 3000$ g, nadciśnienie powietrza roboczego $p_n = 350$ kPa i prędkość obrotowa wirnika klasyfikatora $n = 6000$ 1/min. Wzrost początkowego uziarnienia nadawy doprowadzonej do komory mielenia spowodował wyraźny spadek wydajności młyna, przejawiający się zmniejszeniem całkowitej masy produktu mielenia (I + II) uzyskanej w czasie trwania procesu (rys. 3c). Wraz ze wzrostem początkowego uziarnienia nadawy wyraźnie zmalała skuteczność separacji cyklonu (produkt I) i nieznacznie wzrosła skuteczność separacji filtra (produkt II). Wynika to z faktu zakłócenia przez dostarczoną nadawę warunków pracy burzliwej warstwy fluidalnej. Dla najdrobniejszej nadawy N1, pojawiły się typowe warunki dla zainicjowania rozwiniętej fluidyzacji fontannowej, przechodzącej miejscami w transport pneumatyczny, co w konsekwencji zwiększało liczbę wzajemnych zderzeń ziaren drobnych i grubych w górnej części komory oraz ich unos do układów separacji zewnętrznej (cyklon i filtr). Dla nadawy N2 i N3 fluidyzacja burzliwa przebiegała poprawnie, natomiast dla najgrubszej nadawy N4 pojawiły się typowe warunki dla zainicjowania mało rozwiniętej fluidyzacji burzliwej, przechodzącej miejscami w intensywną fluidyzację pęcherzową, co w konsekwencji zwiększało liczbę wzajemnych zderzeń ziaren w dolnej części komory oraz unos przede wszystkim drobnych ziaren do cyklonu i filtra.

4.2. Wpływ początkowej masy zasypowej nadawy na wydajność młyna

Podczas próby mielenia zachowano stałą wartość następujących parametrów procesu: początkowe uziarnienie nadawy N3 (630–1000) μm , nadciśnienie powietrza roboczego $p_n = 350$ kPa i prędkość obrotowa wirnika klasyfikatora $n = 6000$ 1/min. Wzrost początkowej masy zasypowej nadawy doprowadzonej do komory mielenia spowodował wzrost wydajności młyna, charakteryzujący się zwiększeniem całkowitej masy produktu mielenia (I + II) w czasie trwania procesu (rys. 4a). Wraz ze wzrostem początkowej masy zasypowej nadawy wzrosła skuteczność separacji cyklonu (produkt I) i uległa zmianie skuteczność separacji filtra (produkt II). Należy jednak pamiętać, że nadmierna ilość początkowej masy nadawy w komorze mielenia może spowodować duży spadek wydajności młyna, wynikający

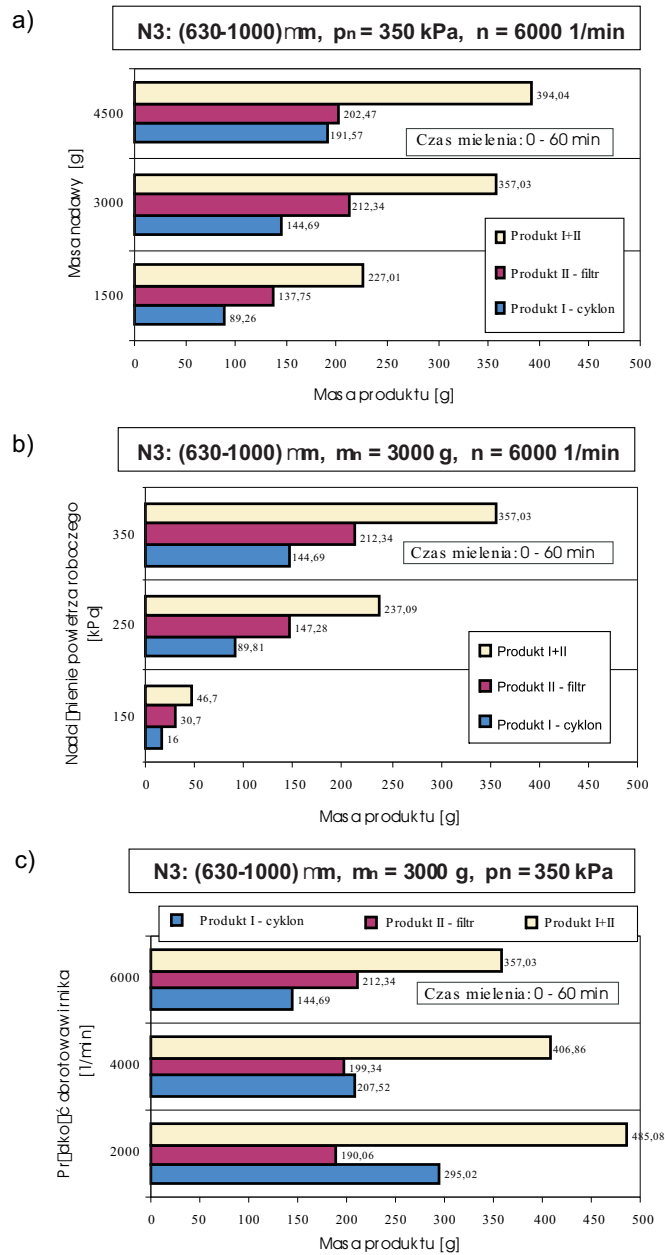


Rys. 3. Zestawienie wyników pomiaru masy produktu mielenia kamienia wapiennego otrzymanych przy zmianie początkowego uziarnienia nadawy po czasie mielenia:

a) $\tau = 0-30 \text{ min}$, b) $\tau = 30-60 \text{ min}$, c) $\tau = 0-60 \text{ min}$

Fig. 3. Juxtaposition of measured values of milling products of limestone obtained during changes the initial fed particle size distribution after duration of milling:

a) $\tau = 0-30 \text{ min}$, b) $\tau = 30-60 \text{ min}$, c) $\tau = 0-60 \text{ min}$



Rys. 4. Zestawienie wyników pomiaru masy produktu mielenia kamienia wapiennego otrzymanych po czasie mielenia $\tau = 60$ min przy zmianie wartości:

- a) początkowej masy zasypowej nadawy, b) nadciśnienia powietrza roboczego, c) prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora

Fig. 4. Juxtaposition of measured values of milling products of limestone obtained after duration of milling $\tau = 60$ min during changes the values of:

- a) the initial fed mass in mill, b) the working air overpressure, c) the rotational speed of classifier rotor

z przejścia ziaren tworzących warstwę z obszaru fluidyzacji burzliwej do obszaru fluidyzacji pęcherzowej, stanu filtracji bądź też całkowitego zaniku fluidyzacji.

4.3. Wpływ nadciśnienia powietrza roboczego na wydajność młyna

Podczas próby mielenia zachowano stałą wartość następujących parametrów procesu: początkowe uziarnienie nadawy N3 (630–1000) μm , początkowa masa nadawy $m_n = 3000$ g i prędkość obrotowa wirnika klasyfikatora $n = 6000$ 1/min. Wzrost nadciśnienia powietrza roboczego doprowadzonego do komory mielenia spowodował zdecydowany wzrost wydajności młyna, przejawiający się wyraźnym zwiększeniem całkowitej masy produktu mielenia (I + II) uzyskanej w czasie trwania procesu (rys. 4b). Wraz ze wzrostem nadciśnienia powietrza roboczego wzrosła skuteczność separacji cyklonu (produkt I) i filtra (produkt II). Zastosowanie wartości nadciśnienia powietrza roboczego $p_n = 150$ kPa nie dało zadowalających wyników, co można wyjaśnić faktem przejścia warstwy fluidalnej w stan fluidyzacji pęcherzowej, w której zanika możliwość fontannowego unoszenia produktu mielenia. Kamień wapienny należy do grupy kruchych substancji stałych, dla których przemiał w młynie strumieniowo-fluidyzacyjnym odbywa się efektywnie, dla zastosowanych wartości nadciśnienia powietrza roboczego ($p_n \geq 250$ kPa). W przypadku stosowania substancji twardych, przemiał przy tak niskim nadciśnieniu okazuje się mało skuteczny, ponieważ wydajność młyna zdecydowanie spada, powodując jednocześnie wzrost energochłonności procesu rozdrabniania (Rink, Konieczny 1997).

4.4. Wpływ prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora na wydajność młyna

Podczas próby mielenia zachowano stałą wartość następujących parametrów procesu: początkowe uziarnienie nadawy N3 (630–1000) μm , początkowa masa nadawy $m_n = 3000$ g i nadciśnienie powietrza roboczego $p_n = 350$ kPa. Wzrost wartości prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora przepływowego spowodował znaczny spadek wydajności młyna, objawiający się zmniejszeniem całkowitej masy produktu mielenia (I + II) w czasie trwania procesu (rys. 4c) oraz wyraźny spadek skuteczności separacji cyklonu (produkt I), przy nieznacznym wzroście skuteczności separacji filtra (produkt II). Wywołane to było wzrostem liczby ziaren nawracanych do komory mielenia, które poprzednio przy niższych wartościach prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora opuszczały komorę, trafiając z cyklonu do zbiornika produktu mielenia I. Jak widać wyraźnie na rysunku 4c, dla wartości prędkości obrotowej $n = 2000$ 1/min większa część całkowitej masy produktu mielenia została wytrącona w cyklonie, natomiast dla prędkości obrotowej $n = 6000$ 1/min więcej produktu zostało zatrzymane w filtrze. Oznacza to, że przy rosnącej wartości prędkości obrotowej wirnik klasyfikatora nie pozwalał wydostawać się grubym ziarnom z komory mielenia, lecz zwracał je z powrotem do ponownego rozdrobnienia. Przepuszczał on natomiast najdrobniejsze

ziarna, które porywane przez ciąg urządzenia wyciągowego przechodziły przez cyklon i ostatecznie zatrzymywane były w filtrze.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wzrost wartości początkowego uziarnienia nadawy doprowadzonej do komory mielenia przyczynia się do zmniejszenia wydajności młyna, scharakteryzowanej przyrostem masy całkowitego produktu mielenia w czasie. Wynika to z wyraźnego zmniejszenia intensywności procesu fluidyzacji materiału w warstwie oraz spadku skuteczności separacji cyklonu, przy zmianie skuteczności separacji filtra.
2. Wzrost wartości początkowej masy nadawy doprowadzonej do komory mielenia przyczynia się do zwiększenia wydajności młyna, co przejawia się wzrostem masy produktu wytrąconego w cyklonie i zatrzymanego w filtrze. Jednakże, nadmierna masa nadawy w komorze mielenia może spowodować duży spadek wydajności młyna, wynikający z przejścia ziaren z obszaru fluidyzacji burzliwej do obszaru fluidyzacji pęcherzowej lub stanu filtracji materiału ziarnistego.
3. Wzrost wartości nadciśnienia powietrza roboczego doprowadzonego do komory mielenia przyczynia się do zwiększenia wydajności młyna, co wynika z wyraźnego wzrostu intensywności procesu fluidyzacji materiału w warstwie oraz wzrostu skuteczności separacji cyklonu i filtra.
4. Wzrost wartości prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora przepływowego przyczynia się do zmniejszenia wydajności młyna, co przejawia się wyraźnym spadkiem masy produktu wytrąconego w cyklonie, przy nieznacznym wzroście masy produktu zatrzymanego w filtrze.
5. Czas trwania mielenia kamienia wapiennego wpływa na wydajność młyna. Dla wszystkich badanych próbek wydajność młyna była wyższa w pierwszym okresie mielenia ($\tau = 0-30$ min) niż w kolejnym ($\tau = 30-60$ min).

LITERATURA

- Benz M., Herold H., Ulfik B., 1996 – Performance of a fluidized bed jet mill as a function of operating parameters. *International Journal of Mineral Processing* vol. 44–45, 507–519.
- Berthiaux H., Dodds J.A., 1999 – Modeling fine grinding in a fluidized bed opposed jet mill: Part I. Batch grinding kinetics. Part II. Continuous grinding. *Powder Technology* vol. 106, 78–97.
- Godet-Morand L., Chamayou A., Dodds J., 2002 – Talc grinding in an opposed air jet mill: tart-up, product quality and production rate optimization. *Powder Technology* vol. 128, 306–313.
- Hogg R., 1999 – Breakage mechanisms and mill performance in ultrafine grinding. *Powder Technology* vol. 105, 135–140.
- Koch R., Noworyta A., 1992 – *Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej*. Warszawa, WNT.

- Korzeń Z., Rink R., 1999 – Powietrzno-strumieniowe technologie mikronizacji ciał twardych – tendencje rozwojowe i propozycje nowych wdrożeń. *Mechanika* t. 18, z. 11, 49–65.
- Korzeń Z., Rink R., Konieczny A., 1997 – Problemy syntezy konstrukcyjnej i badań młynów powietrzno-fluidalnych. *ZN Politechniki Łódzkiej, Seria: Inżynieria Chemiczna* nr 780, z. 22, 141–150.
- Rink R., Konieczny A., 1997 – Niektóre wyniki badań procesu mielenia w młynie powietrzno-fluidalnym. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 13, 369–378.
- Stiess M., 1995 – *Mechanische Verfahrenstechnik. Teil 1, 2.* Springer-Lehrbuch, Berlin, Heidelberg, New York.
- Tasirin S.M., Geldart D., 1999 – Experimental investigation on fluidized bed jet grinding. *Powder Technology*, vol.105, 337–341.
- Vogel A., 1991 – The Alpine fluidized bed opposed jet mill – a case history. *Powder Handling & Processing*, vol.3, nr 2, 129–134.
- Wang H., Ikeda T., Fukuda K., Yoshio M., 1999 – Effect of milling on the electrochemical performance of natural graphite as an anode material of lithium-ion battery. *Journal of Power Sources*, vol. 83, 141–147.
- Zbroński D., 2005 – Badanie i modelowanie procesu strumieniowo-fluidalnego rozdrabniania materiałów ziarnistych. Praca doktorska, Politechnika Częstochowska.
- Zbroński D., Górecka-Zbrońska A., 2006 – Wpływ prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora przepływowego na osiągi młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego. *Uczelniane Wyd. Naukowo-Dydaktyczne AGH, Górnictwo i Geoinżynieria*, rok 30, z. 3/1, 365–373.
- Zbroński D., Górecka-Zbrońska A., Otwinowski H., Urbaniak D., 2005 – Research of limestone particles comminution in the fluidized bed opposed jet mill. *Powder Handling & Processing*, vol. 17, nr 1, 32–39.
- Zbroński D., Otwinowski H., 2006 – Badanie wydajności młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* vol. 45, no 4s, 158–160.
- Zhang K., Zhang J., Zhang B., 2003 – Experimental and numerical study of fluid dynamic parameters in a jetting fluidized bed of a binary mixture. *Powder Technology*, vol. 132, 30–38.

DANIEL ZBROŃSKI, ALEKSANDRA GÓRCKA-ZBROŃSKA

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SELECTED PARAMETERS PROCESS ON THE PERFORMANCE OF FLUIDIZED BED OPPOSED JET MILL.

PART I: THE EFFICIENCY OF MILL

Key words

Grinding, fluidization, fluidized bed opposed jet mill, efficiency of mill, limestone

Abstract

The theoretical basis and experimental results for the fluidized fine jet grinding of granular substances are presented in the paper. The experiment contained grinding tests of limestone in turbulent fluidized layer conditions of the fluidized bed opposed jet mill. The aim of researches was to explain the influence of selected parameters process: the initial graining and the fed mass in the mill, the values of working air overpressure, the rotational speed of classifier rotor and duration of grinding on the efficiency of mill (Part I article) and on the particle size distribution of grinding product (Part II article).