

TOMASZ P. OLEJNIK

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Szybkość przemiału surowców mineralnych z uwzględnieniem liczby punktów kontaktu mielników

Wprowadzenie

Proces rozdrabniania w młynach kulowych zdeterminowany jest przez złożony charakter oddziaływania mielników na mielony surowiec. W zakresie częstości obrotowych, z którymi pracują młyny mamy do czynienia z kaskadowym ruchem mielników. Dla takiego ruchu, istotną rolę w mechanizmie rozdrabniania, odgrywa udarowe oddziaływanie mielników na mielony surowiec [1, 2]. Wspomniany rodzaj ruchu, przy którym następuje przewaga oddziaływań udarowych, występuje dla częstości obrotowych młyna zbliżonych do częstości krytycznej. Jest to bardzo pożądane zjawisko ze względu na intensywność przemiału, ale gabaryty przemysłowych młynów kulowych, a co za tym idzie siły bezwładności ograniczają charakter pracy młyna z prędkościami zbliżonymi do częstości krytycznej [3, 4]. Z tego względu, decydując się na ograniczenie częstości obrotowej młyna, udział poszczególnych mechanizmów rozdrabniania można zmieniać poprzez zmianę wielkości oraz liczby mielników. Zwiększenie wymiaru kul determinuje zwiększenie masy pojedynczej kuli i zwiększenie sił wzajemnego oddziaływania pomiędzy mielnikami. Zwiększony wymiar mielników, przy zachowaniu niezmiennego stopnia wypełnienia młyna mielnikami, powoduje zmniejszenie liczby punktów kontaktu [5]. Powoduje to zmniejszenie miniobszarów, w których w danej chwili mogą wystąpić naprężenia niszczące ziarna mielonego materiału. Dobór średnicy kul zależy od wytrzymałości materiału mielonego, jak również od średnicy ziarna mielonego materiału.

Podstawowym celem prowadzonych badań było określenie zmiany w czasie udziałów poszczególnych frakcji rozmiarowych mielonego materiału, a następnie szybkości rozdrabniania ziarna z poszczególnych przedziałów rozmiarowych, dla wybranych materiałów skalnych i uzależnienie otrzymanych wyników od liczby punktów kontaktu mielników.

Parametry procesowe badań

Badania szybkości przemiału prowadzono w młynie półtechnicznym o działaniu okresowym. Podstawowe informacje techniczno ruchowe o młynie przedstawiono w tabeli 1. Proces rozdrabniania przebiegał na sucho. Przemiał prowadzono dla kwarcytu, szarogłazu oraz granitu. Serie badań dla tych materiałów oznaczono literami *k*, *s* oraz *g*.

Tablica 1
Podstawowe parametry młyna półtechnicznego

Średnica wewnętrzna [m]	0,5
Pojemność całkowita [m ³]	0,112
Częstość obrotowa <i>n</i> [min ⁻¹]	31
<i>n/n_{kr}</i>	0,54

Każdy przemiał charakteryzował się stałą masą nadawy wynoszącą 45 kg. Do przemiału użyto surowców o uziarnie-

niu 5÷8 mm. Wypełnienie młyna mielnikami wraz z nadawą przyjęto na poziomie 35% (objętościowo) pojemności całkowitej młyna.

Tablica 2
Wymiary, całkowita masa kul oraz teoretyczna liczba punktów kontaktu mielników

Seria	A	B	C	D
Średnica kul, [mm]	Masa kul, [kg] / Liczba punktów kontaktu			
10	-	6 / 27588	1 / 6424	-
20	-	12,3 / 11176	12,5 / 11363	11 / 9999
30	-	12,3 / 2035	12,5 / 2068	15 / 2475
40	-	10 / 671	15 / 1001	15 / 1001
60	40 / 512	-	-	-
Suma	40 / 512	40,6 / 50611	41 / 14432	41 / 13475

W trakcie przemiałów zmieniano skład mielników: ich średnice oraz masy poszczególnych frakcji kul, zachowując stałą całkowitą masę kul wynoszącą ok. 41 kg. Udziały masowe oraz wymiary kul dla każdej z serii badań przedstawiono w tabeli 2. Dla rozróżnienia przemiałów w zależności od składu kul, każdemu z nich nadano oznaczenie A, B, C i D. Kule dla serii A wykonane były ze stali zaś dla pozostałych serii użyto kul alubitowych. Teoretyczna liczba punktów kontaktu została oszacowana na podstawie badań statystycznych, przyjmujących zróżnicowane wymiary kul i zakładających, że każdy mielnik ma 11 punktów kontaktu [6].

Co 30 minut zatrzymywano młyn, pobierając do analizy granulometrycznej próbkę o masie ok. 0,6 kg. Na podstawie danych otrzymanych z analizy składu granulometrycznego obliczono szybkości rozdrabniania poszczególnych frakcji rozmiarowych. Do obliczeń wykorzystano równanie *Gardnera* i *Austina* [5]:

$$\frac{\Delta w_i(t)}{\Delta T} = -S_i w_i(t) + \sum_{j=1, i>1}^{i-1} S_j b_{i,j} w_j(t) \quad (1)$$

dla dyskretnych wartości udziałów, zakładając idealne wymieszanie mielonego materiału (z wykorzystaniem własnego programu komputerowego).

Przy obliczaniu funkcji rozkładu $b_{i,j}$ zastosowano jej klasyczną postać:

$$b_{i,j} = \phi \left(\frac{d_i}{d_j} \right)^\gamma + (1 - \phi) \left(\frac{d_i}{d_j} \right)^\beta \quad (2)$$

i określono wartości współczynników tego równania (Tabl. 4).

Wyniki badań

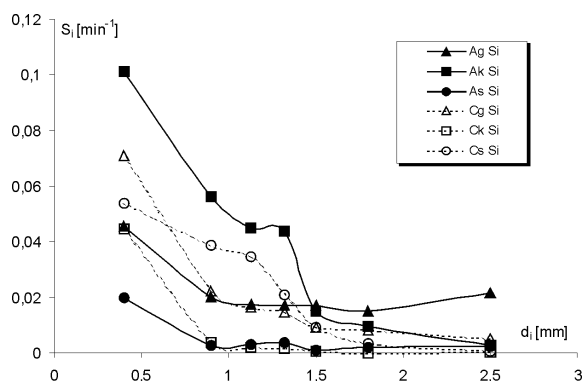
Dla rozdrabnianych surowców stwierdzono znaczący wpływ rodzaju i składu wagowego mielników o poszczególnych roz-

miarach, na szybkości rozdrabniania ziarna frakcji drobnych (Rys. 1). Dla ziarn powyżej 1,5 mm, zaobserwowano zbliżone wartości szybkości rozdrabniania, na poziomie $0,05 \text{ min}^{-1}$. Jedynie użycie kul dużych (stalowych – skład A) w przypadku mielenia granitu, spowodowało znaczne przyspieszenie rozdrabniania frakcji największych ziaren. W związku z tym należy przypuszczać, iż dla ziarn dużych, o wysokiej wytrzymałości materiału mielonego ważniejsza jest wielkość sił oddziaływania (wymiary i masa kul), niż liczba punktów kontaktu. Aby jednak zależności takie opracować ilościowo a nie jakościowo, konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań, których zakres obejmować będzie określenie wytrzymałości ziarn na różne rodzaje obciążeń. Dla ziarn o średnich wymiarach mniejszych od 1,5 mm, zaobserwowano prawidłowość w zmianie szybkości rozdrabniania, zależną od liczby i masy młynków (Tabl. 4).

Tablica 4

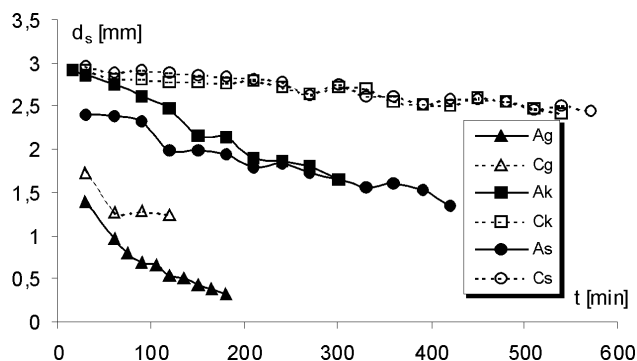
Współczynniki równania (2) dla wybranych serii pomiarowych

Seria danych	ϕ	β	γ	R (og)
Ag	0,7027	0,1493	3,176	0,7565
Ak	0,9466	0,2915	4,926	0,9474
As	0,7951	0,1488	4,697	0,8865
Cg	0,531	4,443	0,3743	0,8998
Ck	0,6749	0,1269	4,319	0,9931
Cs	0,995	4,426	4,979	0,9957



Rys. 1. Zmiana szybkości rozdrabniania badanych surowców dla składu kul A i C oraz trzech mielonych surowców

W przypadku zestawu C młynków, dla wszystkich badanych surowców, otrzymano większe szybkości rozdrabniania, w porównaniu z zestawem A młynków. Jedynie dla kwarcytu otrzymano większe szybkości dla kul w zestawie A. Można to wytłumaczyć budową kwarcytu, która powoduje, że jest on mało podatny na rozdrabnianie, niezależnie od rozmiarów ziarn. Z tego względu o szybkości rozdrabniania kwarcytu i innych surowców, charakteryzujących się zbliżoną budową krystaliczną, decyduje wielkość (masa), a co za tym idzie energia młynków. Wydaje się, iż wpływ liczby punktów kontaktu na szybkość mielenia jest istotny dla ziarn małych o wymiarach poniżej 0,4 mm. Wymaga to jednak dalszych badań. Kinetykę procesu, w odniesieniu do średniego wymiaru ziarna, dla poszczególnych materiałów oraz zestawu kul obrazuje rys. 2. Wynika z niego znaczne skrócenie czasu prze-miału (do ok. 180 min) przy użyciu kul stalowych w zestawie A. Zwiększenie liczby punktów kontaktu (zestaw C) powoduje wolniejszą zmianę średniego wymiaru ziarna, chociaż szybkości rozdrabniania dla ziarn poniżej 1 mm są większe (Rys. 1).



Rys. 2. Czasy przemiału kwarcytu i granitu dla serii pomiarowej A i C

Można to wytłumaczyć dużą wytrzymałością ziarn większych na naprężenia niszczące i trudnym ich niszczeniem przez małe młynki. Natomiast zwiększenie szybkości rozdrabniania ziarn drobnych, wynika z korzystnego wpływu zwiększonej liczby punktów kontaktu młynków.

Wnioski

Przedstawione wyżej wyniki wskazują że:

1. Liczba punktów kontaktu młynków jak również wytrzymałość ziarn mają wpływ na kinetykę procesu rozdrabniania.
2. Wielkości te są ze sobą powiązane i ogólnie rzecz ujmując, dla ziarn drobnych oraz o małej wytrzymałości, korzystne jest zastosowanie mniejszych młynków, dla których występuje większa liczba punktów kontaktu. W przypadku ziarn dużych i o wysokiej wytrzymałości korzystne jest zastosowanie mniejszej liczby młynków o większych wymiarach. W takim przypadku uzyskana liczba punktów kontaktu jest mniejsza.

Oznaczenia

- $b_{i,j}$ – funkcja rozkładu ziarnowego,
- d_i, d_j – średnice ziarn w przedziałach rozmiarowych i oraz j ,
- d_{si} – średni (arytmetyczny) wymiar ziaren w przedziale rozmiarowym i
- n, n_{kr} – częstotliwości obrotowe młyna odpowiednio: nominalna i krytyczna
- S_p, S_j – szybkość właściwa rozdrabniania ziaren z przedziału i lub j , zwana też parametrem rozdziału,
- $w_i(t), w_j(t)$ – udział wagowy frakcji ziaren i lub j po czasie mielenia t ,
- β, ϕ, γ – parametry równania (2)

LITERATURA

1. J. Mattan: How to step up ball mill efficiency, Rock Products, nr 5, 1971.
2. A.J. Lynch: Mineral crushing and grinding circuits, New York, Oxford, 1974.
3. P.H. Shipway, I.M. Hutchin: Phil. Magaz. A, **67**, 1389 (1993).
4. A. Heim, T.P. Olejnik: Materiały konferencyjne KOMKO, Gliwice, 81, 2004.
5. A. Heim, T.P. Olejnik: Proceedings of the Fifth World Congress on Particle Technology, Swan and Dolphin Resort, Orlando, 18.13, 2006.
6. P.R. Mort: Proceedings of the 4th International Conference for conveying and handling of particulate solids, Budapest **2**, 12.98, 2003.

Badania prowadzone w ramach projektu badawczego N N208 0773 33 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2010.