

Jan SIDOR

Akademia Górniczo- Hutnicza, Kraków

WSTĘPNE BADANIA WPŁYWU NISKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI DRGAŃ MŁYNA WIBRACYJNEGO NA EFEKTYWNOŚĆ PROCESU MIELENIA

Streszczenie. Głównym sposobem zmniejszenia szkodliwości oddziaływania młynów wibracyjnych na otoczenie jest obniżenie częstotliwości drgań zespołu drgającego młyna. Dlatego podjęto próbę eksperymentalnego wyznaczenia wpływu niskiej częstotliwości drgań młyna - poniżej 16 Hz na efektywność procesu mielenia w tym młynie. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym młyna wibracyjnego o kinematycznym wymuszeniu ruchu drgającego i kołowej trajektorii drgań. Jako materiału modelowego użyto piasku kwarcowego. Proces mielenia przeprowadzono w sposób okresowy na sucho. Efektywność procesu określano zmianą parametrów uziarnienia i kinetycznej powierzchni właściwej zmielonego materiału. W badaniach uwzględniono także wpływ stopnia napełnienia komory. Wyniki badań wskazują na możliwość budowy młynów wibracyjnych o częstotliwości drgań 10 -14 Hz o znacznie mniejszej emisji hałasu i przenoszenia drgań na podłoże.

THE PRELIMINARY INVESTIGATIONS OF THE LOW VIBRATION FREQUENCY OF THE VIBRATION MILL ON THE EFFICIENCY OF THE GRINDING PROCESS

Summary. The decrease of the vibration frequency of the vibration unit of a mill is the main method employed for the reduction the harmful influence of vibration mills on the environment. Therefore an attempt to determine experimentally the influence of low vibration frequencies (below 16 Hz) of the vibration mill on the efficiency of the grinding process was made. Investigations were carried on a test stand comprising a vibration mill with kinematic input and circular vibration trajectory. Quartz sand was used as a model material. The grinding process was performed periodically in dry conditions. The efficiency of the process was evaluated by measuring of the changes in the granulation params, and the kinetic specific surface of the milled material. The influence of the filling ratio of the chamber was also taken into account. The results of the experiments indicate on the possible construction of the vibration mills with frequencies from 10 to 14 Hz, featuring with the significantly lower noise emission and considerably lower vibration into the ground.

1. Wprowadzenie

W latach 1965-1975 opracowano szereg konstrukcji młynów wibracyjnych o wydajności 10-60 Mg/godz [1,2,3], które dzięki swym niewątpliwym zaletom technologicznym i technicznym zaczynały skutecznie wypierać z procesów technologicznych młyny grawitacyjne - zwłaszcza w procesach bardzo drobnego mielenia na sucho. Były to maszyny o bardzo zwartej konstrukcji, o częstotliwości drgań zespołu roboczego 17- 23 Hz, a zainstalowane moce młynów mieściły się w zakresie 30-500 kW. Dziesięć lat później zbudowano prototyp młyna wibracyjnego o mocy aż 1400 kW, który zastosowano w Republice Południowej Afryki do mielenia rudy złota [4].

Przeprowadzono także szereg kompleksowych badań młynów wibracyjnych, przy czym jako dolny poziom częstotliwości drgań przyjmowano zwykle 17 Hz, uzasadniając to spadkiem efektywności procesu mielenia poniżej tej częstotliwości [5,6].

Do najważniejszych zalet młynów wibracyjnych należą:

- bardzo duża wydajność z jednostki objętości komór młyna,
- kilkakrotnie mniejsza masa młyna - przy tej samej wydajności - w porównaniu z masą młyna grawitacyjnego,
- duża łatwość uzyskiwania znacznie drobniejszego uziarnienia produktu mielenia, często niemożliwa do uzyskania w młynie grawitacyjnym,
- duża intensywność mieszania mielonego materiału składającego się z kilku komponentów,
- kilkakrotnie mniejsze od młynów grawitacyjnych jednostkowe zużycie energii.

Szersze zastosowanie młynów ograniczały:

- czynnik technologiczny - konieczność rozdrobnienia nadawy do młyna - poniżej 2 - 5 mm,
- czynniki techniczne - znaczna szkodliwość oddziaływania młyna na otoczenie - emisja hałasu i przenoszenie drgań na podłoże, konieczność budowy młynów z wysokiej jakości materiałów konstrukcyjnych oraz stosowania układów chłodzenia łożysk wibratora.

W latach 1980-1997 prowadzono prace nad doskonaleniem konstrukcji młynów wibracyjnych, a w szczególności nad obniżeniem szkodliwości oddziaływania tych młynów na otoczenie. Prace prowadzono w dwóch kierunkach:

- kierunek obejmujący młyny obrotowo-wibracyjne, czyli młyny o niskiej częstotliwości drgań, niskiej amplitudzie drgań i złożonym ruchu komór,

- kierunek obejmujący młyny wibracyjne o niskiej częstotliwości drgań i wysokiej amplitudzie ruchu drgającego.

Pierwszy kierunek rozwijany jest w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie od 1974 roku i obejmuje prace nad młynami wibracyjnymi o dwu, trzykrotnie niższej częstotliwości drgań i przyspieszeniu ruchu drgającego od klasycznych młynów, w których do intensyfikacji procesu mielenia zastosowano ruch obrotowy komór. Młyny te, z uwagi na wykonywany ruch komór, nazwano obrotowo-wibracyjnymi [7, 8, 9]. W Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska AGH opracowano i zastosowano praktycznie typoszereg laboratoryjnych młynów obrotowo-wibracyjnych obejmujący osiem konstrukcji oraz typoszereg młynów przemysłowych obejmujący pięć konstrukcji. Młyny te znakomicie sprawdziły się w praktyce laboratoryjnej - przy mieleniu bardzo drobnym - poniżej 5-10 μm oraz koloidalnym - poniżej 0,3-1,0 μm . W tych młynach mielono kilkanaście materiałów o bardzo zróżnicowanych właściwościach fizycznych, z których trudniejszymi do mielenia były: węgiel krzemu [7], węgiel tytanowo-krzemowy [8], korund, krzem półprzewodnikowy [9], biomateriały [10, 11] i inne [12]. W praktyce przemysłowej natomiast - przy mieleniu tlenku glinu i dolomitu [13].

Drugi kierunek zaczęto intensywnie rozwijać od 1997 roku, a ich rezultatem jest opracowanie prototypowego młyna wibracyjnego do mielenia mączki biotyту [14] oraz młyna do mielenia tlenku chromu [15,16].

W pracy podano niektóre wyniki badań dotyczące wpływu częstotliwości drgań młyna wibracyjnego w zakresie 8-16 Hz oraz kinetyki procesu mielenia na efektywność procesu mielenia w tym młynie. Efektywność procesu określano zmianą wymiarów ziaren d_{50} , d_{90} , d_{97} - oznaczanych metodą dyfraktometryczną oraz kinetyczną powierzchnią właściwą zmielonego materiału - oznaczoną metodą permeabilimetrii. Badania przeprowadzono na opracowanym w KUTiOŚ oryginalnym stanowisku badawczym młyna. Głównym urządzeniem stanowiska był laboratoryjny młyn wibracyjny o kołowej trajektorii drgań z możliwością wprowadzania komory w ruch obrotowy. Mielonym materiałem modelowym był piasek kwarcowy szklarski. Proces mielenia przeprowadzano w sposób okresowy na sucho. Podano także pewne wyniki badań dotyczące wpływu stopnia napełnienia komory na efektywność procesu mielenia.

2. Cel i metoda badań, stanowisko badawcze młyna

Cel badań obejmował eksperymentalne wyznaczenie wpływu: częstotliwości drgań, czasu mielenia i stopnia napełnienia komory młyna na wymiary ziaren d_{50} , d_{90} , d_{97} , oraz na kinetyczną powierzchnię właściwą zmielonego materiału modelowego.

Metoda badań obejmowała sposób i warunki przeprowadzenia eksperymentu. Stąd na podstawie doświadczeń autora, przy zapewnieniu wymaganej dokładności, przyjęto:

- komorę o średnicy 210 mm i pojemności 2,20 dm³, z gładką wykładziną stalową,
- mielniki - jednakowe kulki stalowe o średnicy 12,0 mm
- materiał modelowy - piasek kwarcowy - szklarski klasy I z Białej Góry,
- własności fizyczne piasku kwarcowego: gęstość $2,66 \pm 0,02$ kg/dm³, gęstość usypowa w stanie luźnym $1,50 \pm 0,02$ kg/dm³, kinetyczna powierzchnia właściwa $31,6 \pm 0,5$ m²/kg,

Tabela 1

Uziarnienie piasku kwarcowego przed mieleniem

Klasa, mm	+ 0,50	0,50-0,30	0,30-0,20	0,20-0,10	0,10-0,063	-0,063
Udział, %	1,2	18,0	43,0	35,0	1,1	1,6

- przeprowadzenie procesu mielenia na sucho w środowisku powietrza,
- częstotliwość drgań 12 Hz; zakres zmian - 8 - 16 Hz, pięć poziomów co 2 Hz,
- stopień napełnienia wyjściowy 0,70, zakres zmian 0,60 - 0,85, sześć poziomów co 0,05,
- zakres zmian czasu mielenia: dla częstotliwości drgań 8,10, 12 Hz 0 - 20 minut; dla częstotliwości drgań 14 i 16 Hz 0 - 10 minut,
- dwie metody oceny procesu mielenia:
 - metodę dyfraktometryczną - oznaczenie składu ziarnowego Laserowym Analizatorem Uziarnienia LAU-97 produkcji Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych w Opolu, błędy wymiarów kontrolnych ziaren nie przekraczały ± 2 %,
 - metodę permeabilimetrii - oznaczenie kinetycznej powierzchni właściwej udoskonalonym aparatem Tovarova [17], o wynikach zbliżonych do wyników z aparatu Blaine'a - PN-63/B-04300, a średni błąd pomiaru jest o połowę mniejszy i wynosił $\pm 1,76$ %,
- na każdy punkt pomiarowy przeprowadzano dwa przemiały, a dla każdego przemiału trzy oznaczenia uziarnienia i powierzchni właściwej,

Tabela 2

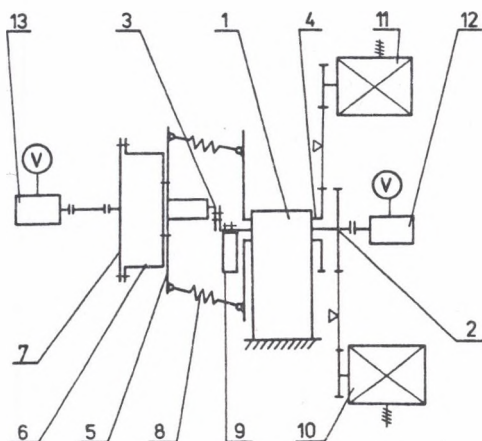
Masy mielników i piasku dla poszczególnych stopni napełnienia

Stopień napełnienia	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
Masa mielników, kg	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50
Masa piasku, kg	0,77	0,84	0,90	0,96	1,03	1,09

- wskaźniki uziarnienia: wymiar ziaren d_{50} , d_{90} , d_{97} - z granulometru,

kinetyczna powierzchnia właściwa - z permeabilimetru.

Schemat budowy stanowiska badawczego laboratoryjnego młyna wibracyjnego podano na rys.1.



Rys. 1. Schemat budowy stanowiska badawczego młyna wibracyjnego: 1 - moduł napędu, 2 - wał wibratora, 3 - wał mimośrodowy, 4 - wał napędu komory, 5 - tarcza, 6 - komora, 7 - pokrywa komory, 8 - element sprężysty, 9 - obciążnik, 10 - silnik wibratora, 11 - silnik komory, 12 - prądniczka tachometryczna pomiaru częstotliwości drgań, 13 - prądniczka tachometryczna pomiaru prędkości obrotowej

Fig.1. The scheme of test stand of vibration mill : 1 - unit drive, 2 - shaft of vibrator, 3 - eccentric shaft, 4 - shaft of chamber, 5 - disk, 6 - chamber, 7 - cover of chamber, 8 - elastic element, 9 - weight, 10 - motor of vibrator, 11 - motor of chamber, 12 - tachometer of frequency of vibration, 13 - tachometer of rotational speed

Charakterystyka techniczna i możliwości badawcze stanowiska

1. Zakres regulacji częstotliwości drgań - 0 - 25 Hz.
2. Zakres regulacji prędkości obrotowej 0 - 500 obr/min.
3. Zakres regulacji przyspieszenia ruchu drgającego 0 - 30g, (g - przyspieszenie ziemskie).
4. Moc napędu wibratora 3,5 kW.
5. Moc napędu ruchu obrotowego 0,75 kW.
6. Wyposażenie podstawowe: cztery komory o parametrach podanych w tab. 3.

Tabela 3

Parametry komór

Średnica komory, mm	123	210	310	440
Objętość komory, dm ³	0,75	2,20	5,05	9,75

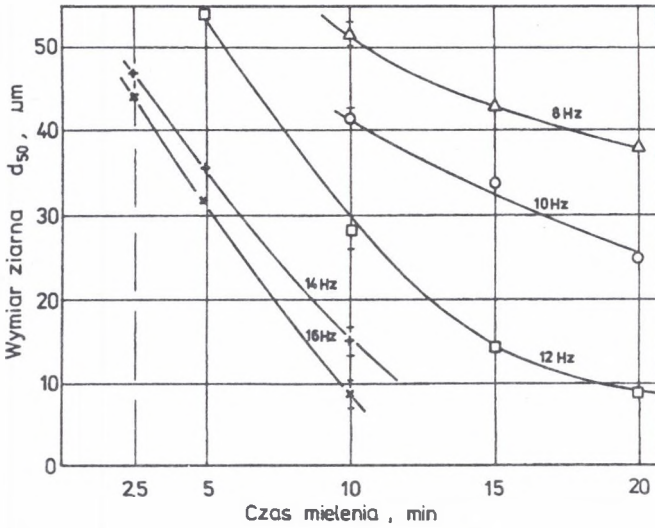
7. Wykładzina komór stalowa lub z tworzywa sztucznego odpornego na ścieranie.
8. Mielniki: stalowe, korundowe, porcelanowe, szklane.
9. Możliwość ciągłego pomiaru częstotliwości drgań, prędkości obrotowej, poboru mocy przez oba napędy.
10. Wyposażenie komór w pokrywy stalowe oraz szklane - umożliwiające obserwację, rejestrację fotograficzną, filmową lub kamerą tv, ruchu ładunku.
11. W młynie można umieszczać komory o innych wymiarach i pojemnościach.

3. Program, realizacja i wyniki badań

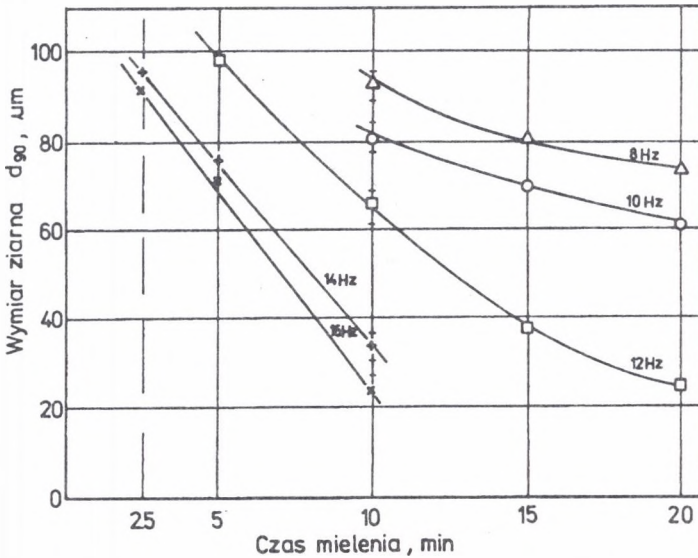
Program badań obejmował dwie serie:

- I - zawierającą wpływ częstotliwości drgań i czasu mielenia, przy ustalonym stopniu napełnienia 0,70, na przyjęte wskaźniki oceny efektywności procesu mielenia - wymiary ziaren d_{50} , d_{90} , d_{97} oraz kinetyczną powierzchnię właściwą zmielonego materiału modelowego,
- II - zawierającą wpływ stopnia napełnienia komory, przy ustalonej częstotliwości drgań 12 Hz i ustalonym czasie mielenia 10 minut, na podane wyżej wskaźniki oceny efektywności procesu mielenia.

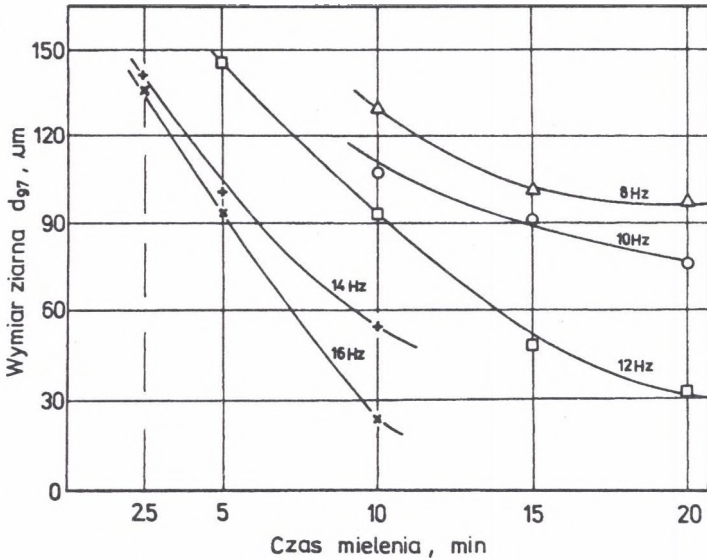
Na rys. 2, 3, 4 i 5 podano wyniki badań serii I - czyli wpływ częstotliwości drgań i czasu mielenia na wymiary ziaren d_{50} , d_{90} , d_{97} oraz kinetyczną powierzchnię właściwą zmielonego materiału modelowego - piasku kwarcowego.



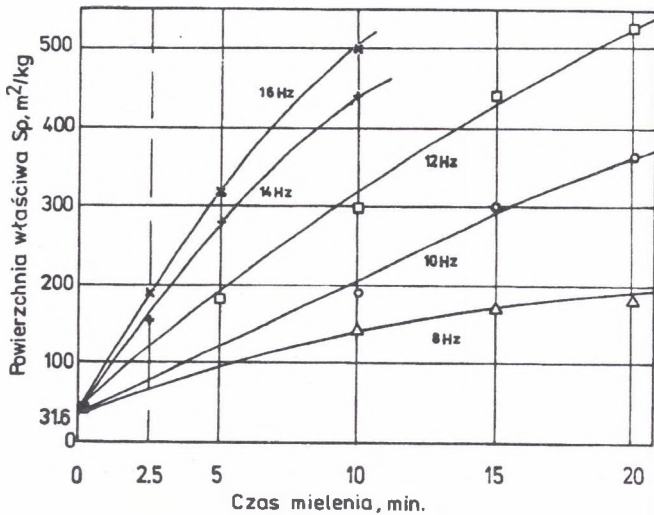
Rys. 2. Wpływ częstotliwości drgań i czasu mielenia na wymiar ziarna d_{50} piasku kwarcowego
 Fig.2. The influence of vibration frequency and milling time in grain size d_{50} of quartz sand



Rys. 3. Wpływ częstotliwości drgań i czasu mielenia na wymiar ziarna d_{90} piasku kwarcowego
 Fig.3. The influence of vibration frequency and milling time in grain size d_{90} of quartz sand

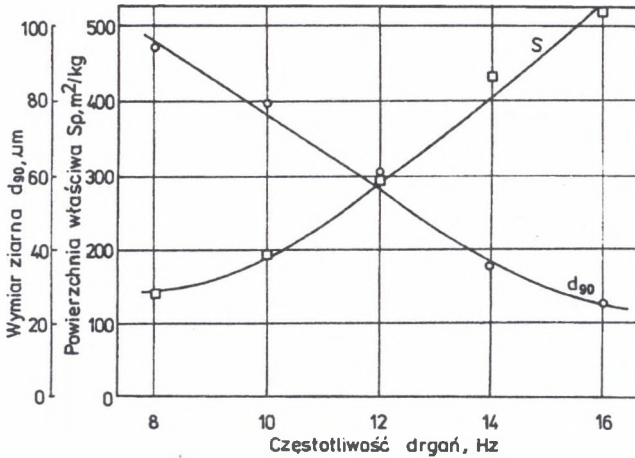


Rys. 4. Wpływ częstotliwości drgań i czasu mielenia na wymiar ziarna d_{97} piasku kwarcowego
 Fig.4. The influence of vibration frequency and milling time in grain size d_{97} of quartz sand

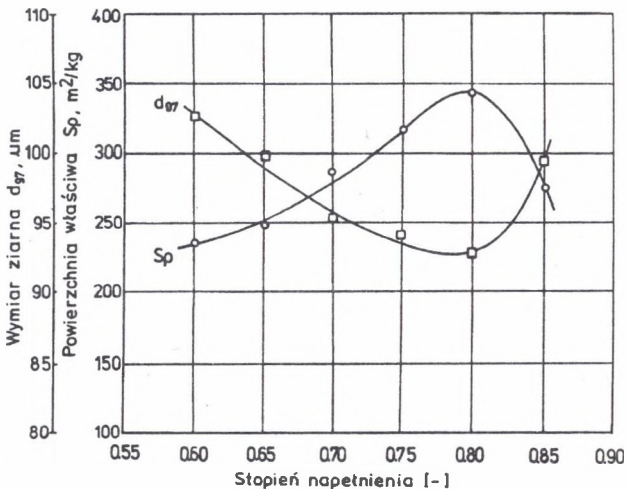


Rys. 5. Wpływ częstotliwości drgań i czasu mielenia na kinetyczną powierzchnię właściwą piasku kwarcowego
 Fig.5. The influence of vibration frequency and milling time in specific surface quartz sand

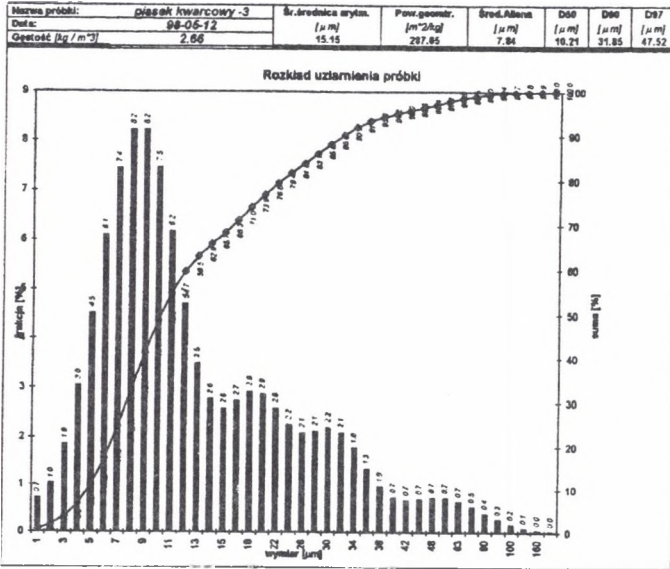
Na rys. 6 zamieszczono wyniki badań dotyczące wpływu częstotliwości drgań na wymiar ziarna d_{90} oraz kinetyczną powierzchnię właściwą S_p piasku kwarcowego zmielonego w czasie 10 minut. Wyniki te uzyskano przy stałym stopniu napełnienia komory 0,7.



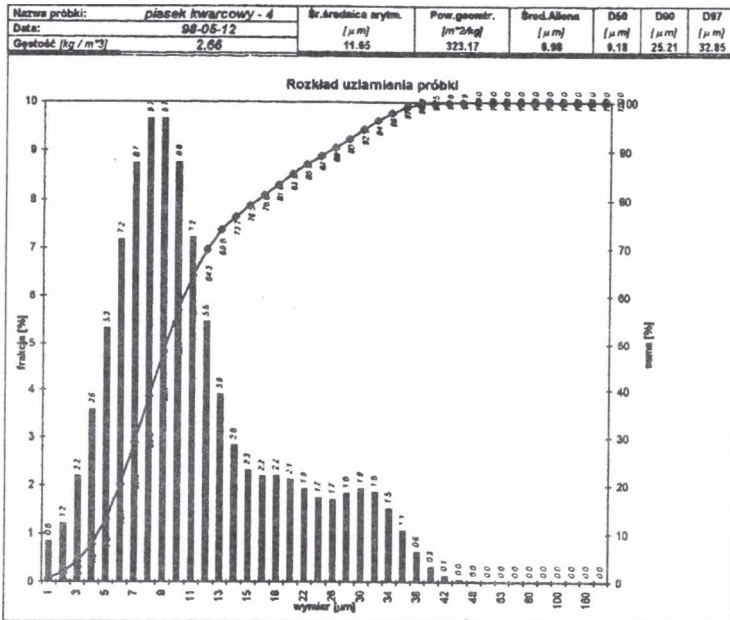
Rys.6. Wpływ częstotliwości drgań na wymiar ziarna d_{90} i kinetyczną powierzchnię właściwą piasku kwarcowego zmielonego w czasie 10 minut
Fig.6. The influence of vibration frequency in grain size d_{90} and specific surface of quartz sand - time milling 10 minutes



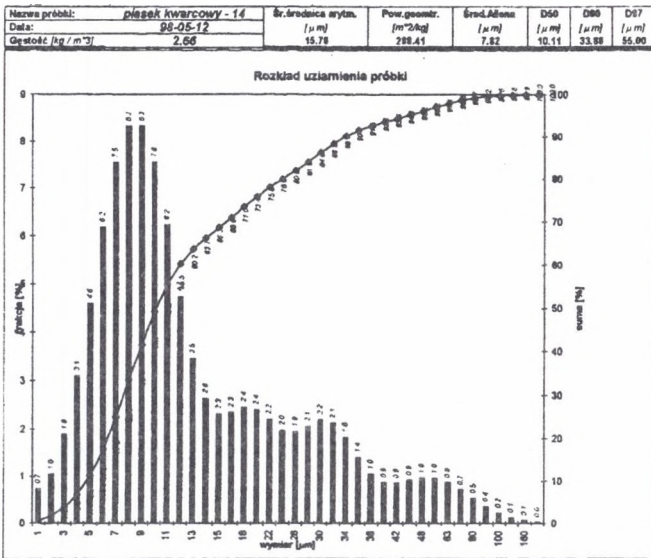
Rys. 7. Wpływ stopnia napełnienia komory na wymiar ziarna d_7 i kinetyczną powierzchnię właściwą zmielonego piasku kwarcowego w czasie 10 minut
Fig. 7. The influence of filling ratio in grain size d_7 and specific surface of quartz sand - time milling 10 minutes



Rys.8. Rozkład uziarnienia próbki 3 - czas mielenia 15 minut, częstotliwość drgań 12 Hz, stopień napętnienia 0,70
 Fig.8. The particle size distribution of sample 3 - time milling 15 minutes, frequency of vibration 12 Hz, filling ratio 0,70



Rys.9. Rozkład uziarnienia próbki 4 - czas mielenia 20 minut, częstotliwość drgań 12 Hz, stopień napętnienia 0,70
 Fig.9. The particle size distribution of sample 4 - time milling 20 minutes, frequency of vibration 12 Hz, filling ratio 0,70



Rys. 10. Rozkład uziarnienia próbnik 14 - czas mielenia 10 minut, częstotliwość drgań 14 Hz, stopień napełnienia 0,70

Fig. 10. The particle size distribution of sample 14 - time milling 10 minuts, frequency of vibration 14 Hz, filling ratio 0,70

Wyniki badań serii II podano na rys. 7. Rysunek ten przedstawia wyniki badań dotyczące wpływu stopnia napełnienia komory na wymiar ziarna d_{97} i kinetyczną powierzchnię właściwą zmielonego piasku kwarcowego w czasie 10 minut.

Przykładowe uziarnienia wybranych próbek zmielonego piasku kwarcowego zamieszczono na rys. 8, 9, 10.

4. Podsumowanie wyników badań. Wnioski

Otrzymane wyniki badań wskazują, że częstotliwość ma istotny wpływ na szybkość procesu mielenia. Proces mielenia zachodził najwolniej przy częstotliwości drgań - 8 Hz. Wyraźny wzrost szybkości procesu mielenia wystąpił przy częstotliwości drgań 12 Hz, a kolejny wzrost przy częstotliwości drgań 14 Hz. Natomiast zwiększenie częstotliwości drgań do 16 Hz spowodowało już znacznie wolniejszy wzrost szybkości procesu mielenia.

Charakter wpływu stopnia napełnienia na proces mielenia - przy częstotliwości drgań 12 Hz - jest bardzo zbliżony do charakteru wpływu tego parametru w klasycznych młynach wibracyjnych - pracujących przy częstotliwościach drgań 20-25 Hz [5].

Rozkład uziarnienia zmielonego piasku kwarcowego uzyskany w czasie 15 minut mielenia, przy częstotliwości drgań 12 Hz - rys.8, jest bardzo zbliżony do uziarnienia zmielonego piasku w czasie 10 minut - przy częstotliwości drgań 14 Hz - rys. 9. Zwiększenie czasu mielenia z 15 do 20 minut - przy częstotliwości drgań 12 Hz powoduje wyraźne obniżenie wymiarów ziaren d_{30} , d_{90} , d_{97} oraz zwiększenie kinetycznej powierzchni właściwej zmielonego materiału.

Na podstawie otrzymanych wyników badań sformułować można następujące wnioski:

1. Otrzymane wyniki badań wskazują, że przy amplitudzie drgań powyżej 10 mm proces mielenia w młynie wyraźnie zachodzi już przy częstotliwości drgań 10 Hz, a przy częstotliwości drgań 12 Hz efektywność procesu mielenia nie budzi zastrzeżeń.
2. Badania kinetyki procesu mielenia z uwzględnieniem wpływu częstotliwości drgań wskazują na korzystne zmiany wszystkich analizowanych wskaźników uziarnienia: wymiarów ziaren d_{50} , d_{90} , d_{97} oraz kinetycznej powierzchni właściwej.
3. Wzrost częstotliwości drgań powoduje niekorzystny wzrost przyspieszenia ruchu drgającego z 8,1 g przy 12 Hz do 14,4 g przy 16 Hz czyli o blisko 80%. Powoduje to wzrost sił dynamicznych w konstrukcji młyna, wzrost emisji hałasu i poziomu drgań przenoszonych na podłoże.
4. Istotny wpływ na proces mielenia ma stopień napełnienia komory. Najkorzystniejszy rezultat uzyskano przy stopniu napełnienia 0,80 - przy częstotliwości drgań 12 Hz. Niestety, wystąpił wówczas niekorzystny wzrost poboru mocy, hałasu i temperatury ładunku. Najkorzystniejsze wskaźniki uziarnienia są przy stopniu napełnienia 0,80, zastrzeżenia może budzić bimodalny rozkład uziarnienia charakteryzujący się dużą ilością bardzo drobnych i bardzo grubych ziaren.
5. Korzystne wyniki uziarnienia otrzymane w młynie przy tak niskich częstotliwościach drgań - 10-14 Hz, wskazują na możliwość budowy młynów wibracyjnych o znacznie mniejszej od klasycznych młynów wibracyjnych, szkodliwości oddziaływania na otoczenie, przy zachowaniu bardzo korzystnych parametrów technologicznych tych młynów.

6. Kierunek dalszych prac nad tym młynem to eksperymentalna optymalizacja parametrów młyna i procesu mielenia oraz prace nad optymalnym doбором parametrów młyna do konkretnej technologii mielenia.

LITERATURA

1. Gämmerler H.: Neukonstruktion einer Zweirohr-Schwingmühle mit Mitteantrieb. Aufbereitungs-Technik 1972, nr 12, 793-795 s.
2. Gämmerler H.: Einrohr- und Sechsrühr-Schwingmühlen als Begrenzungen einer Typenreihe für den Produktionseinsatz. Aufbereitungs-Technik 1973, nr 3, 173-175 s.
3. Höffl K.: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig 1985.
4. Grizina K., Meiler H., Rosenstock F.: Die Zentrifugalmühle - einer neuartige Zerkleinerungsmaschine für Erze und mineralische Rohstoffe, Aufbereitungs-Technik 1981, nr 6, 303-308 s.
5. Rose H. E.: Some Observations on Vibration Mills and Vibration Milling. Symposium Zerkleinern. Verlag Chemie GmbH, Düsseldorf 1962, 427-456 s.
6. Rose H. E., Sullivan R.: Vibration mills and vibration milling. Constable, London 1972.
7. Sidor J., Ermer-Kowalczywska E.: Wstępne badania koloidalnego mielenia węglika krzemu w nowym laboratoryjnym młynie obrotowo-wibracyjnym. Inżynieria Materiałowa 1989, nr 4, s. 106-110.
8. Sidor J.: Fine grinding of Ti_3SiC_2 powders using rotary vibration mill. FOURTH EURO CERAMICS - Basic Science - Developments in processing of advanced ceramics - Part 1, Edited by C. Galassi, C.N.R. - IRTEC, Faenza, Italy 1995. Vol. 1 - pp. 121-128.
9. Sidor J., Wójcik M., Kordek J.: Fine grinding of hard ceramic waste in the rotary-vibration mill. The international conference for the environmental and technical implications of construction with alternative materials, The Netherlands. Wascon '97. Elsevier Science, Amsterdam 1997, p. 591-598.

10. Sidor J.: Niektóre wyniki badań bardzo drobnego i koloidalnego mielenia hydroksyapatytu w młynie obrotowo-wibracyjnym. Polski Biuletyn Ceramiczny. Ceramika 1994, nr 46, Wyd. PAN Oddział w Krakowie, Prace Komisji Nauk Ceramicznych, Kraków 1994.
11. Łączka M., Cholewa K., Kata D., Sidor J.: Obtaining and properties of ceramic powders of silicate-phosphate system. Fundamentals of glass science and technology 1997. June 9-12, 1977, Växjö, Sweden p. 364-371.
12. Sidor J.: Otrzymywanie proszków twardych materiałów w młynach obrotowo-wibracyjnych. Polski Biuletyn Ceramiczny. Ceramika, 1997, nr 54. Wyd. PAN Oddział w Krakowie, Prace Komisji Nauk Ceramicznych Kraków 1997, s. 347-353.
13. Sidor J.: Zastosowanie maszyn wibracyjnych w procesach bardzo drobnego kruszenia i mielenia. XI gliwickie sympozjum procesów przerobczych, Wyd. Polit. Śląska, s. 108 - 117.
14. Sidor J., Drzymała Z., Golik L. i inni: Projekt układu mielącego, wykonanie prototypowego młyna wibracyjnego o niskiej częstotliwości drgań wraz z układem mielącym do mielenia mączki biotyty o wydajności 150-200 kg/godz. AGH KUTiOŚ, umowa nr 5.130.154, Kraków 1997 (niepublikowana).
15. Sidor J., Drzymała Z., Kielski A., i inni: Dobór parametrów przemysłowego młyna wibracyjnego o wydajności 200 kg/godz do mielenia na sucho tlenku chromu - na podstawie badań własnych. Opracowanie koncepcji i założeń konstrukcyjnych młyna i układu mielącego. AGH, KUTiOŚ, umowa nr 5.5.130.279, Kraków 1998 (niepublikowana).
16. Sidor J., Drzymała Z., Golik L. i inni: Opracowanie i wykonanie prototypowego młyna wibracyjnego o wydajności 150-200 kg/godz do mielenia tlenku chromu na sucho. AGH, KUTiOŚ, umowa nr 5.5.130.280, Kraków 1998 (niepublikowana).
17. Sidor J.: Oznaczanie kinetycznej powierzchni właściwej proszków udoskonalonym permeabilimetrem Tovarova. Instytut Maszyn Hutniczych i Automatyki. AGH, Kraków 1978 (praca własna, niepublikowana).

Abstract

The work comprises the experimental results of silica sand milling. The influence of frequency, time of milling and charge volume on the grain size of milling product and its specific surface was discussed. The milling process was performed as a dry one using the original research unit of laboratory vibrating mill. The results obtained show possibility of construction of vibrating mills working on frequencies of $10 \div 14$ Hz that are much less harmful for environment in comparison with the classic vibrating mills.