

*Jan SIDOR**

WSTĘPNE BADANIA PROTOTYPOWEGO PRZEMYSŁOWEGO MŁYNA OBROTOWO-WIBRACYJNEGO DO BARDZO DROBNEGO MIELENIA TLENKU GLINU

W pracy przedstawiono opis budowy prototypowego przemysłowego młyna obrotowo-wibracyjnego do bardzo drobnego mielenia tlenku glinu (poniżej $8\ \mu\text{m}$). Główna część pracy zawiera metodę, program i wyniki wstępnych badań procesu bardzo drobnego mielenia tlenku glinu w tym młynie. Otrzymane wyniki badań charakteryzują się wysoką zgodnością z parametrami wyznaczonymi na podstawie rezultatów badań przeprowadzonych w młynie modelowym.

1. WPROWADZENIE

Tlenek glinu jest materiałem znajdującym szerokie zastosowanie w najnowszych technologiach przemysłu ceramicznego, maszynowego, elektronicznego, badaniach kosmicznych, medycynie. Jest materiałem, z którego wytwarzane są odporne na ścieranie części maszyn, narzędzia skrawające, elementy ceramiki elektronicznej, elektrotechnicznej, wysokiej jakości materiały ogniotrwałe, kształtki do implantacji, elementy aparatury naukowej, przemysłowej i wiele innych wyrobów.

Jego zastosowanie uwarunkowane jest głównie dwoma czynnikami: odpowiednim – zwykle bardzo drobnym uziarnieniem – poniżej $20\ \mu\text{m}$, $10\ \mu\text{m}$, a nawet $1\ \mu\text{m}$ oraz wysoką czystością, co przy jego wysokiej twardości (9 w skali Mohsa) sprawia duże problemy techniczne i technologiczne

Proces jego rozdrabniania może być przeprowadzany w młynach grawitacyjnych, wibracyjnych, mieszadłowych, tarczowych i strumieniowych [6].

Zastosowanie któregośkolwiek z wymienionych młynów uwarunkowane jest wymaganiami technologicznymi stawianymi rozdrabnianemu materiałowi, z których najważniejsze to: odpowiednie uziarnienie, wysoka czystość, wymagana wydajność młyna, a także koszty inwestycyjne i eksploatacyjne młyna i całego układu mielącego. Mając na względzie pozytywne rezultaty

* AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA im. St. Staszica, Kraków
Instytut Maszyn Hutniczych i Automatyki

procesu koloidalnego mielenia węgla krzemu w stosunkowo dużym młynie obrotowo-wibracyjnym (zmielony SiC miał zaledwie 1,5 % klasy +1 μm oraz aż 95 % klasy -0,2 μm) [10] oraz bardzo niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne tego młyna w stosunku do innych znanych młynów podjęto próbę zastosowania młyna obrotowo-wibracyjnego do bardzo drobnego mielenia tlenku glinu w skali przemysłowej.

Przyszły użytkownik młyna postawił następujące wymagania technologiczne:

- uziarnienie zmielonego tlenku glinu - wymiar ziarna $d_{90} \leq 8 \mu\text{m}$
- wydajność od 40 do 60 kg/zmianę
- całkowite wyeliminowanie zanieczyszczeń metalicznych
- możliwie najniższe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne młyna.

Do opracowania młyna przyjęto metodę projektowania, zastosowaną praktycznie w projektowaniu półtechnicznych i przemysłowych młynów obrotowo-wibracyjnych do mielenia szkliv [5], dolomitu [7] oraz węgla krzemu [11].

Pierwszą fazę tej metody stanowiły badania procesu mielenia przeprowadzone w modelowym młynie obrotowo-wibracyjnym [8], kolejne fazy obejmowały: wyznaczenie parametrów technologicznych i konstrukcyjnych młyna przemysłowego [8], projekt techniczny młyna [9] i jego wykonanie, rozruch mechaniczny oraz badania wstępne i eksploatacyjne [12].

Niniejsza praca stanowi fragment ostatniej, finalnej fazy prac metody projektowania młynów obrotowo-wibracyjnych i dotyczy wstępnych badań prototypowego, przemysłowego młyna obrotowo-wibracyjnego typu MOW-H-200, opracowanego specjalnie do bardzo drobnego mielenia tlenku glinu. Oryginalne rozwiązanie techniczne młyna jest prawnie chronione [2].

Pozytywne wyniki wstępnych badań prototypowego młyna, oprócz eksperymentalnej weryfikacji metody projektowania przemysłowych młynów obrotowo-wibracyjnych, umożliwiły przekazanie młyna do eksploatacji w ZWLE Polam w Warszawie.

2. ZASADA DZIAŁANIA I OPIS BUDOWY MŁYNA

Młyn obrotowo-wibracyjny należy do grupy młynów z mielnikami swobodnymi i ruchomą komorą z przekazywaniem energii przez komorę [6]. Proces mielenia polega na wprowadzeniu komory młyna (wypełnionej mielonym materiałem i swobodnymi mielnikami) w ruch złożony, składający się z ruchu obrotowego oraz ruchu drgającego o kierunku amplitudy drgań prostopadłym do osi obrotu komory. Ruch drgający może mieć trajektorię amplitudy drgań odcinkową [3, 5], quasi-odcinkową [5, 7, 9] względnie kołową [11]. Proces mielenia w tym młynie może zachodzić w sposób ciągły lub w sposób okresowy, w środowisku gazowym - przeważnie powietrzu - lub

w środowisku cieczy.

Schemat konstrukcji prototypowego młyna typu MOW-H-200 zamieszczono na rys.1, natomiast widok młyna (bez osłony) na rys. 2.

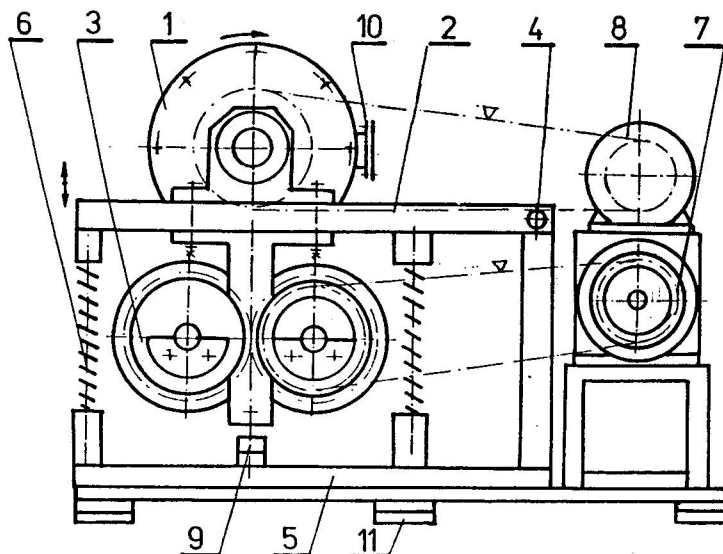


Fig.1. Diagram of construction of the prototype rotary vibration mill of MOW-H-200 type: 1 - unit chamber, 2 - rocker, 3 - vibrator, 4 - articulated joint, 5 - frame, 6 - elastic element, 7 - power unit of the vibrator, 8 - power unit of the chamber, 9 - stop, 10 - closure of chamber, 11 - vibrator insulator [9]

Rys.1. Schemat konstrukcji prototypowego młyna obrotowo-wibracyjnego typu MOW-H-200: 1 - zespół komory, 2 - wahacz, 3 - wibrator, 4 - przegub, 5 - rama, 6 - układ sprężysty, 7 - napęd wibratora, 8 - napęd komory, 9 - zderzak, 10 - zamknięcie komory, 11 - wibroizolator [9].

Głównym zespołem roboczym młyna jest zespół komory 1, którego oporawy łożysk przymocowane są do wahacza 2, do którego przymocowany jest także wibrator mechaniczny - bezwładnościowy 3. Wahacz 2 połączony jest z ramą młyna 5 przegubami 4 oraz układem sprężystym 6. Napęd wibratora stanowi silnik 7 z typową przekładnią pasową, natomiast napęd komory - motoreduktor 8 i także przekładnia pasowa. Do ograniczenia nadmiernej amplitudy drgań przewidziano zderzaki 9. Do operacji załadunku i rozładunku komory przewidziano zamknięcie załadowczo-rozładowcze komory 10. Cały młyn umieszczony jest w dźwiękochłonnej osłonie i przymocowany jest do podstawy, która spoczywa na wibroizolatorach 11.

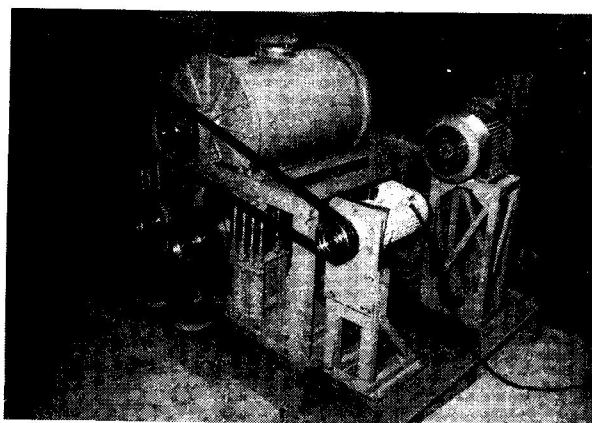


Fig.2. Prototype of the MOW-H-200 rotary-vibration mill - without noise screen [12]

Rys.2. Prototypowy młyn obrotowo-wibracyjny MOW-H-200 - bez osłony dźwiękochłonnej [12]

Podstawowe parametry młyna [9]:

1. Wydajność młyna 40-60 kg/zmiangę - przy mieleniu tlenku glinu do wymiaru ziarna $d_{90} \leq 8 \mu\text{m}$.
2. Pojemność komory 200 dm^3 .
3. Częstotliwość drgań 14 Hz.
4. Prędkość obrotowa komory 65-105 obr/min.
5. Moc silnika napędu wibratora 10 kW.
6. Moc silnika napędu komory 2,2 kW.
7. Wymiary młyna: długość 1700 mm, szerokość 1460 mm, wysokość 1320 mm.
8. Masa samego młyna z pustą komorą 1300 kg.
9. Masa kompletnego młyna z podstawą, osłoną i ładunkiem 2 500 kg.

3. CEL I METODA BADAŃ

Zasadniczym celem poznawczym badań było sprawdzenie poprawności przyjętej metody projektowania młyna przemysłowego, a w szczególności błędów wyznaczenia jego parametrów na podstawie badań przeprowadzonych w młynie modelowym - o sto razy mniejszej pojemności i kilkakrotnie mniejszej średnicy komory oraz poprawności obliczeń konstrukcyjnych młyna (zapotrzebowania mocy przez oba napędy, amplitudy drgań, wibroizolacji). Cel użytkowy dotyczył sprawdzenia poprawności działania młyna, uzyskania projektowej wydajności i przygotowania go do eksploatacji.

Metoda badań obejmowała następujące elementy [12]:

- przygotowanie młyna do badań (zdjęcie osłony, przyłączenie watomierzy, do zacisków silników, przygotowanie przyrządu do pomiaru amplitudy drgań, ustalenie ilości, rodzaju obciążników i umocowanie w odpowiednich uchwytach wibratora,
- przygotowanie ładunku - odważenie tlenku, mielników, wody i dodatków, wykonanie analizy granulometrycznej tlenku przed mieleniem - metodą dyfraktometryczną - granulometrem laserowym firmy Malvern typ 3600 E,
- załadowanie komory młyna, uruchomienie go, rejestracja wskazań watomierzy, pomiary amplitudy drgań, pobieranie - co godzinę próbki mielonego tlenku do zbadania uziarnienia wyżej wymienioną metodą,
- zatrzymanie procesu mielenia w następnej godzinie po uzyskaniu uziarnienia $d_{90} \leq 8 \mu\text{m}$.

4. PROGRAM, REALIZACJA I WYNIKI BADAŃ

Program badań zakładał prowadzenie badań do uzyskania projektowej wydajności młyna przy możliwie najmniejszym obciążeniu wibratora. Założono następujące stany obciążenia wibratora: 0,14; 0,20; 0,25; 0,31; 0,40 projektowego maksymalnego obciążenia oraz cztery warianty ładunku komory (mielników, tlenku glinu i dodatków): 0,25; 0,50; 0,75, 1,00 ładunku znamionowego, a także dwa warianty zestawu mielników [12].

Do uzyskania projektowej wydajności młyna, a właściwie około 30 % większej, przeprowadzono osiem serii doświadczeń, w tym dwie próbne.

Uziarnienie tlenku glinu przed mieleniem: wymiar ziarna maksymalnego d_{max} 129 μm , ziarna d_{90} 59 μm , powierzchnia właściwa 0,28 m^2/cm^3 .

W pracy przytoczono w formie graficznej wyniki badań kinetyki mielenia dwóch najbardziej istotnych serii badań III i VII - rys.3 i rys.4.

Parametry młyna i niektóre wyniki badań III serii:

- obciążenie wibratora 0,25 obciążenia maksymalnego, zestaw mielników I,
- ładunek komory 0,50 ładunku znamionowego; wydajność 21 kg/zmianę,
- pobór mocy: napęd komory 2,01 kW, napęd wibratora 6,58 kW,
- amplituda drgań: zmierzona 2,20 mm; obliczona 2,33 mm.

Parametry młyna i niektóre wyniki badań VII serii:

- obciążenie wibratora 0,40 obciążenia maksymalnego, zestaw mielników I,
- ładunek komory znamionowy; wydajność młyna 75 kg/zmianę,
- pobór mocy: napęd komory 2,15 kW, napęd wibratora 6,78 kW,
- amplituda drgań: zmierzona 3,62 mm, obliczona 3,84 mm.

Najkorzystne wyniki uzyskano w serii VIII, w której przy zestawie II mielników przy identycznych pozostałych parametrach. Wówczas wydajność młyna wzrosła do 80 kg/godz, a w czasie czterech godzin produkt mielenia: d_{90} 8,1 μm , S_v 3,57 m^2/cm^3 , natomiast po pięciu godzinach mielenia: d_{90} 6,5 μm , S_v 3,84 m^2/cm^3 . Wymiar ziarna d_{max} wynosił po czterech i pięciu godzinach mielenia 15 μm .

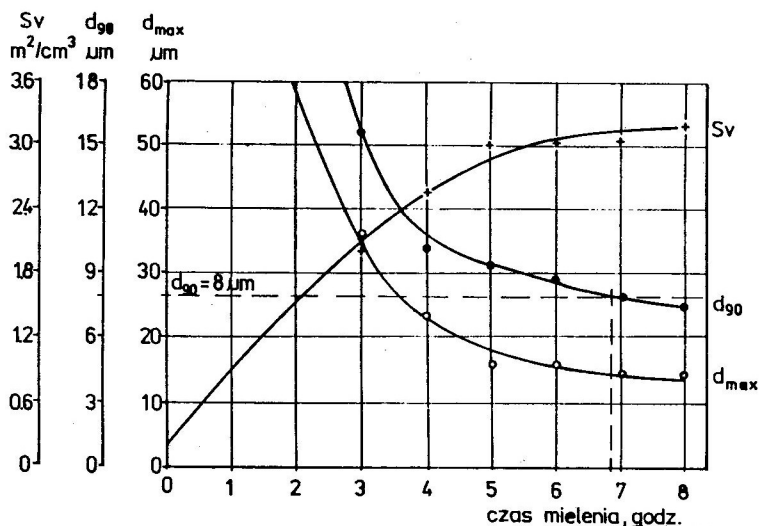


Fig. 3. Influence of the milling time and parameters of mill on selected indicators of grain size distribution of aluminium oxide being grinded in series III: $d_{\max}$ - maximal size of grain, d_{90} - limiting size of grain; the smaller grains consist 90%, S_v - specific surface

Rys. 3. Wpływ czasu mielenia i parametrów młyn na przyjęte wskaźniki uziarnienia mielonego tlenku glinu w serii III: $d_{\max}$ - wymiar ziarna maksymalnego, d_{90} - wymiar ziarna, poniżej którego występuje 90 % ziarn, S_v - powierzchnia właściwa

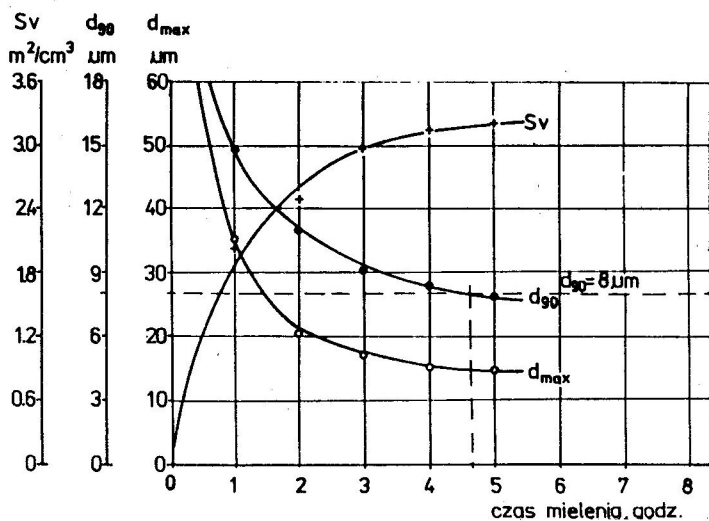


Fig. 4. Influence of the milling time and parameters of mill on selected indicators of grain-size distribution of aluminium oxide being grinded in series VII

Rys. 4. Wpływ czasu mielenia i parametrów młyn na przyjęte wskaźniki uziarnienia mielonego tlenku glinu w serii VII

W tab. 1 zamieszczono wskaźniki uziarnienia tlenku glinu uzyskane: w młynie modelowym, wyznaczone na ich podstawie wskaźniki teoretyczne młyna przemysłowego oraz wskaźniki uzyskane doświadczalnie w młynie przemysłowym.

Tabela 1

Czas mielenia	Wskaźniki uziarnienia	Młyn modelowy	Młyn przemysłowy teoretyczne	Młyn przemysłowy empiryczne
2 godz	$d_{\max}$, μm	17,4	21,3	20,1
4 godz		15,0	16,2	15,0
2 godz	d_{90} , μm	9,6	11,4	10,9
4 godz		6,8	8,9	8,4
2 godz	S_v , m^2/cm^3	3,1	2,2	2,5
4 godz		3,8	3,0	3,2

Teoretyczne wyznaczenie wskaźników uziarnienia młyna przemysłowego uwzględniło: wpływ średnicy komory młyna oraz wpływ amplitudy drgań, a w szczególności przyspieszenia ruchu drgającego. Charakter tych wpływów jest przeciwny, bowiem wzrost średnicy komory młyna obrotowo-wibracyjnego powoduje wzrost szybkości procesu mielenia [4, 8], natomiast spadek amplitudy drgań zmniejsza jego szybkość [3,8].

5. PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Podczas badań zrealizowano w pełni założony program eksperymentu i uzyskano następujące wyniki:

- wydajność młyna 80 kg/zmianę, czyli o 30 % większą od projektowej wydajności maksymalnej przy wymaganym uziarnieniu d_{90} 8 μm ,
- dobrą zgodność wskaźników uziarnienia uzyskanych eksperymentalnie z wskaźnikami wyznaczonymi teoretycznie,
- dobrą zgodność mierzonych parametrów mechanicznych młyna (amplitudy drgań, poboru mocy) z parametrami wyznaczonymi teoretycznie,
- bardzo korzystne obniżenie o około 30 % zawartości wody w ładunku.

Podczas badań uzyskano skrócenie czasu mielenia tlenku glinu z 70 godzin - w eksploatowanym w ZWLE Polam młynie grawitacyjnym o tej samej pojemności komory, do 4 godzin w młynie obrotowo-wibracyjnym przy obniżeniu o ponad dwukrotnie jednostkowego zużycia energii.

LITERATURA

1. Kurer K. E., Gock E., Michaelis S., The rotary chamber vibration mill, a further developement of the customary tube vibration mill. XVI International Processing Congress, edited by E. Forssberg Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1988, str. 121 - 130.
2. Opis patentowy, Nr 152047. Opubl. 1991.05.31. MKP Int.Cl.² B02C 19/16 Młyn wibracyjny. Akademia Górniczo-Hutnicza. Kraków. PL. Twórcy: Zygmunt Drzymała, Jan Sidor.
3. Sidor J., Optymalizacja pracy młyna obrotowo-wibracyjnego. Praca doktorska. Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Maszyn 1978. Kraków.
4. Sidor J., Wpływ średnicy komory na wydajność młynów z mielnikami swo-dnymi. II Konferencja "Problemy w konstrukcji i eksploatacji maszyn hutniczych i ceramicznych" Mogilany k. Krakowa. Wyd. Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków 1984, s. 135 - 144.
5. Sidor J., Nowe konstrukcje młynów wibracyjnych o obniżonej częstotli-wości drgań. Materiały Ogniotrwałe 1986, nr 6, s. 152 - 155.
6. Sidor J., Stan, potrzeby i perspektywy rozwoju otrzymywania materiałów bardzo drobno uziarnionych. Kraków 1988 (Zeszyty Naukowe AGH nr 1239, Górnictwo nr 140, s. 107 - 124).
7. Sidor J., Przybliżona metoda opracowywania konstrukcji przemysłowych młynów obrotowo-wibracyjnych. Kraków 1988 (Zeszyty Naukowe AGH nr 1159, Mechanika nr 13, s. 49 - 61).
8. Sidor J., Jodłowski W., Michłowicz E. i inni: Badania, opracowanie tech-nologii mielenia tlenku glinu i założeń do konstrukcji przemysłowego młyna obrotowo-wibracyjnego Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1988 Prace Instytutu Maszyn Hutniczych i Automatyki, s. 58, (niepubl.).
9. Sidor J., Drzymała Z., Golik L. i inni, Projekt prototypowego młyna ob-rotowo-wibracyjnego do mielenia tlenku glinu. Spółdzielnia Pracy "No-wa Technika", Kraków 1988, s. 62 (niepubl.).
10. Sidor J., Ermer-Kowalczevska E., Wstępne badania koloidalnego miele-nia węgla krzemu w nowym laboratoryjnym młynie obrotowo-wibracyj-nym. Inżynieria Materiałowa 1989, nr 4, s. 106 - 110.
11. Sidor J., Próba opracowania konstrukcji przemysłowego młyna obrotowo-wibracyjnego do koloidalnego mielenia SiC, na podstawie eksperymentu przeprowadzonego w młynie modelowym. Kraków 1990 (Zeszyty Naukowe AGH nr 1355, Mechanika tom 9, Zeszyt 3, s. 197 - 206).
12. Sidor J., Kończyk M., i inni, Badania eksploatacyjne prototypu młyna obrotowo-wibracyjnego. Spółdzielnia Pracy "Nowa Technika", Kraków 1990, s. 26 (niepubl.).

Sidor J., 1992. Preliminary Tests of a Prototype of the Industrial Rotary-Vibration Mill for Fine Milling of Aluminium Oxide. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 26, 57-64 (polish text)

Paper describes the prototype of industrial rotary-vibration mill for fine milling of aluminium oxide (under 8 μm). The principal part of the paper includes method, programme and preliminary results of fine mil-ling of aluminium oxide. The results of tests are characterized by high compatibility with parameters determined in the laboratory mill.