

JAN SIDOR

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Wytwarzanie mikro- i nanoproszków w młynach wibracyjnych o niskiej częstotliwości drgań

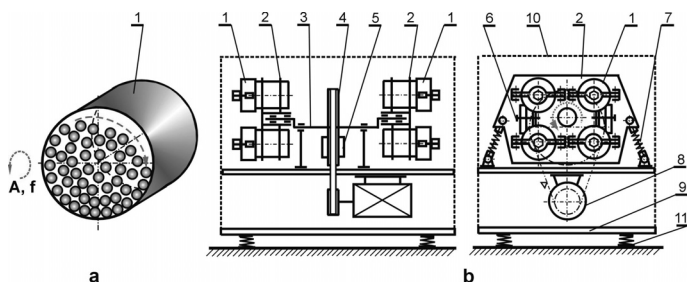
Wprowadzenie

Jedną z podstawowych metod wytwarzania mikro i nanoproszków jest metoda mechaniczna. W tej metodzie najczęściej stosowanymi urządzeniami są młyny z mielnikami swobodnymi, z przekazywaniem energii przez ruchomą komorę, wirnik lub pole magnetyczne. Są to młyny: wibracyjne, planetarne, obrotowo-wibracyjne, mieszadłowe, wirnikowe oraz obrotowo-magnetyczne [1–7]. Najbardziej uniwersalnymi technologicznie młynami o niskiej szkodliwości oddziaływania na otoczenie są młyny wibracyjne i obrotowo-wibracyjne o niskiej częstotliwości drgań – poniżej 16 Hz. Prace nad tymi młynami rozwijane są w *Katedrze Systemów Wytwarzania Akademii Górniczo-Hutniczej* w Krakowie [1, 6, 7]. Zastosowano je w laboratoriach AGH (12 młynów), w tym 6 w *Katedrze Ceramiki Specjalnej*. W *Politechnice Śląskiej* są 3 młyny, a w laboratoriach PAN i instytutów resortowych oraz firm jest 11 sztuk. Niektóre młyny wyposażone są w komory przystosowane do mielenia w gazie obojętnym, bez stosowania śluzu manipulacyjnej.

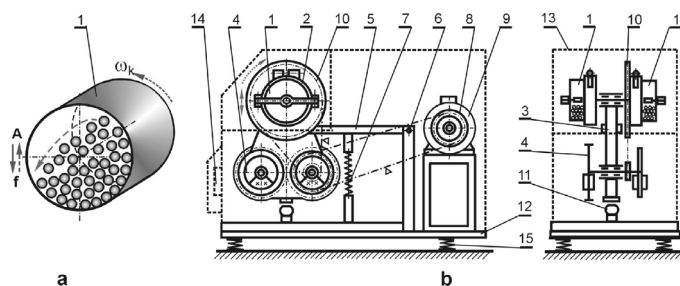
Sposób działania, budowa i podstawowe parametry młynów

Schemat działania młyna wibracyjnego zamieszczono na rys. 1a. Schemat budowy tego laboratoryjnego młyna z ośmioma komorami podano na rys. 1b. Rys. 2a przedstawia schemat działania młyna obrotowo-wibracyjnego, a rys. 2b schemat budowy laboratoryjnego młyna dwukomorowego w wersji o pojemności komór do 2 dm³.

Rys. 3 przedstawia fotografie trzech młynów. Są to: młyn obrotowo-wibracyjny LMOW-L-2x1 do mielenia materiałów metalicznych w atmosferze gazu obojętnego (Rys. 3a), młyn obrotowo-wibracyjny LMOW-P-2x1 do wytwarzania proszków i nanoproszków bez zanieczyszczeń metalicznych (Rys. 3b), oraz młyn wibracyjny LMW-8x0,4 zaprojektowany do mielenia próbek węgla, w którym można wytwarzać mikro- i nanoproszki innych materiałów bez zanieczyszczeń me-



Rys. 1. Młyn wibracyjny: a) schemat działania, b) schemat budowy, A – amplituda drgań, f – częstotliwość drgań, 1 – komora, 2 – obsada, 3 – wibrator, 4 – przekładnia, 5 – obciążnik, 6 – śruba mocująca, 7 – układ sprężysty, 8 – silnik, 9 – podstawa, 10 – obudowa dźwiękoszczelno-izolacyjna, 11 – wibroizolator



Rys. 2. Młyny wibracyjne: a) schemat działania, b) schemat budowy, A – amplituda drgań, f – częstotliwość drgań, ω_k – prędkość kątowa, 1 – komora, 2 – obsada, 3 – wspornik, 4 – wibrator, 5 – wahacz, 6 – przegub, 7 – układ sprężysty, 8 – przekładnia wibratora, 9 – silnik, 10 – przekładnia komory, 11 – zderzak, 12 – podstawa, 13 – obudowa dźwiękoszczelno-izolacyjna, 14 – wentylator, 15 – wibroizolator

talicznych (Rys. 3c). Podstawowe parametry pięciu laboratoryjnych młynów o niskiej częstotliwości drgań podano w tabl. 1.

Tablica 1
Podstawowe parametry młynów laboratoryjnych

Parametry młyna	Typ młyna, parametry				
	LAMO-W-B-5/2	LAMOW-D-1/0,5	LMOW-L-2x1	LMOW-P-2x1	LMW-8x0,4
Częstotliwość drgań, Hz	12	14	10÷16	10÷16	10
Pojemność komory, dm ³	2 i 5	1 i 0,5	2 i 1	1	0,4
Łączna pojemność komór, dm ³	4÷5	2÷1	4÷2	2	3,2
Moc silnika, kW	0,75	0,37÷0,55	1,1÷0,37	0,55	0,55
Masa młyna, kg	180	95	200	150	75
Wymiary: dł. × szer. × wys, cm	92×65 ×80	75×62 ×62	105×61 ×76	84×54 ×53	62×56 ×80

Niektóre wyniki badań procesu mielenia w laboratoryjnych młynach

W laboratoryjnych młynach wibracyjnych wytwarzane są proszki, mikroproszki oraz nanoproszki materiałów o silnie zróżnicowanych właściwościach fizycznych, o twardości niemal całej skali *Mohsa*. Są to materiały organiczne (skrobia, bursztyn), materiały mineralne, związki chemiczne (glinu, żelaza, cyny, tlenków metali, siarczków metali, wodorotlenków, siarki), metale (żelazo, chrom, glin, wolfram, stopy metali), węgle, biomateriały ceramiczne, organiczne i metaliczne, farmaceutyki, grafit, pigmenty, masy ceramiczne, bardzo twarde tworzywa ceramiczne (węgliki: krzemu, boru, wolframu; azotki: krzemu, boru, tytanu, glinu; tlenki: glinu, cyrkonu), materiały antybalistyczne oraz inne uziarnione mate-

riały odpadowe. Obrazy mikroskopowe proszków wytworzonych w młynach wibracyjnych przedstawiono na rys. 4 i 5: tlenek chromu (4a), grafit (4b), wodorotlenek glinu (5a), SiC – proszek otrzymany przez prof. L. Sobierskiego (5b).

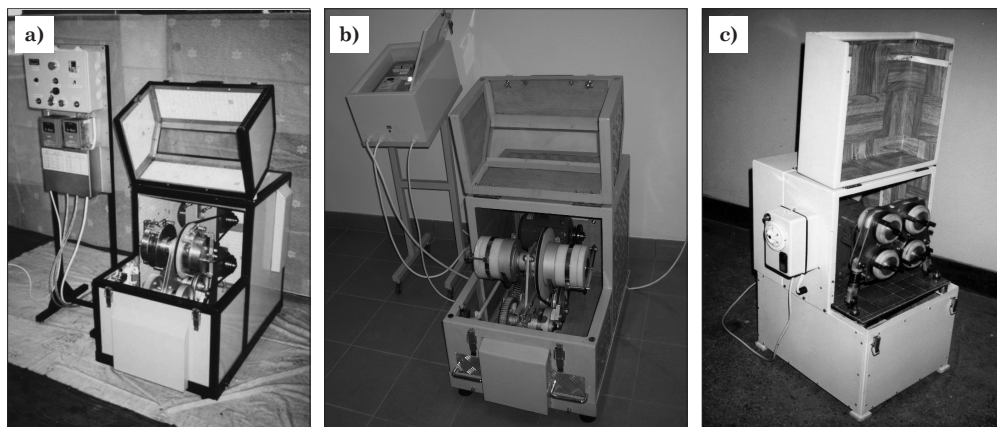
Powierzchnia właściwa mikroproszku tlenku chromu wynosiła 3,35 m²/g, a wymiar ziarna d_{50} wynosił 1,13 μm. Powierzchnia właściwa nanoproszku grafitu wynosiła 87,95 m²/g, a średni wymiar ziarna obliczony z powierzchni właściwej wynosił 32 nm.

Charakterystykę ziarnową skrobi zmielonej w młynie wibracyjnym zamieszczono na rys. 6. W tabl. 2 podano parametry uziarnienia wybranych proszków.

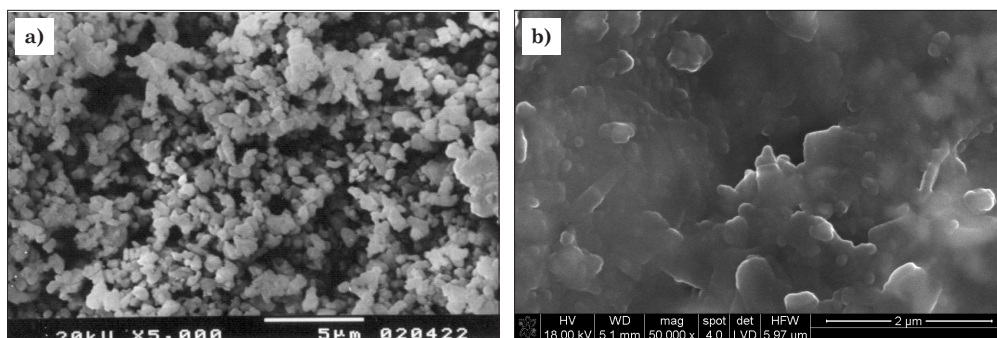
Posumowanie

1. W laboratoryjnych młynach wibracyjnych o niskiej częstotliwości drgań można otrzymać mikroproszki materiałów o twardości 2÷9,5 w skali Mohsa, o uziarnieniu poniżej: 2÷20 μm oraz nanoproszki o uziarnieniu poniżej 100 nm.
2. Niska częstotliwość drgań zapewnia niski poziom ciśnienia akustycznego (74÷76 dBA), co czyni te młyny przyjaznymi dla środowiska w porównaniu z klasycznymi młynami wibracyjnymi.

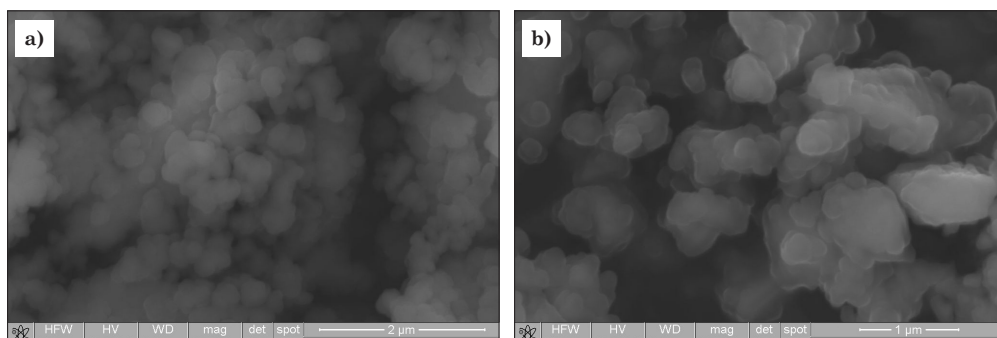
Pracę wykonano w ramach Projektu Badawczego, umowa AGH Nr 17.17.160.676



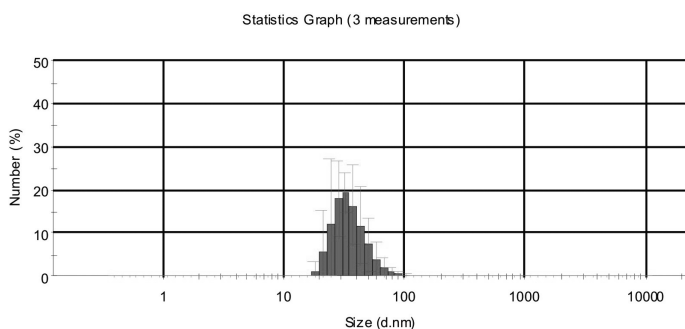
Rys. 3. Młyny laboratoryjne: a, b) obrotowo-wibracyjne, c) wibracyjny



Rys. 4. Obrazy mikroskopowe proszków: a) tlenek chromu, b) grafit



Rys. 5. Obrazy mikroskopowe proszków: a) wodorotlenek glinu, b) SiC wodorotlenek



Rys. 6. Uziarnienie nanoproszku skrobi mielonej w alkoholu etylowym

LITERATURA

1. J. Sidor: Badania i metody projektowania młynów wibracyjnych, UWND AGH Kraków, 2005.
2. M. Juhnke, R. Weichert: Erzeugung von Nanopartikeln aus weichen Substanzen mit hohen Reinheitsanforderungen durch Zerkleinerung, Technische Universität Clausthal, Institut für Verfahrenstechnik, 2005.

Tablica 2
Parametry uziarnienia proszków otrzymanych w młynach wibracyjnych

Materiał	Twardość wg Mohsa	Czas/środowisko	Wymiary ziaren, μm		
			d_{max}	d_{90}	d_{50}
Skrobia	2	3h/alkohol etylowy	0,12	0,07	0,035
Kwarc	7,0	5h/woda	6,0	3,2	1,0
Ti ₃ SiC ₂	7	1,5h/powietrze	12,0	4,9	2,3
α Al ₂ O ₃	9	4h/woda	4,6	2,2	1,4
SiC	9,5	12h/alkohol etylowy	2,1	0,19	0,13

3. A. Calka, D. Wexler, D. Oleszak, J. Bystrzycki: Solid State Phenomena, 101–102, 111 (2005).
4. S. Chichelnicky: Milling as a nanoparticle preparation technique, Ben-Gurion University of the Negev, 2006.
5. M. Jurczyk: Nanomateriały, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2002.
6. J. Sidor: Archives of Metallurgy and Materials, 52 (3), 407 (2007).
7. J. Sidor: Materiały Ceramiczne 40, nr 1, 28 (2008).