

Młyny grawitacyjne

maj 2, 2025

Młyny grawitacyjne należą do grupy młynów z mielnikami swobodnymi, ruchomą komorą z przekazywaniem energii przez komorę, a proces rozdrabniania mielenia zachodzi w nich dzięki działaniu siły grawitacji. Nazwa „młyny grawitacyjne” jest mniej używana, ale znana w literaturze [1].

Najczęściej używane nazwy tych maszyn to młyny: bębnowe, rurowe, stożkowe (cylindrowo-stożkowe) [2], są pochodnymi kształtu ich głównego elementu roboczego, w którym zachodzi proces rozdrabniania, czyli komory [3], a także jako pochodne stosowanych w nich swobodnych elementów roboczych - najczęściej kul, ale także prętów oraz większych ziaren mielonego materiału.

Stąd ich nazwy: kulowe, prętowe, autogeniczne (samomielące) - AG oraz autogeniczne z niewielkim udziałem mielników - kul, czyli semiautogeniczne SAG. Występują również nazwy uwzględniające połączenia obu tych elementów roboczych, czyli młyny rurowo-kulowe [4] oraz uwzględniające elementy ich budowy i działania np.: młyny sitowe, suszącomielące [1, 2, 3].

W języku angielskim funkcjonują nazwy: ball mill, rod mill, pebble mill, tumbling mill, autogenous mill, semiautogenous mill, a w języku niemieckim: Kugelmühle, Rohrmühle, Rohrkugelmühle, Trommelmühle, Sturzmühle, Autogenmühle i inne.

Uziarnienie nadawy, czyli materiału wprowadzanego do młyna uzależnione jest od rodzaju procesu mielenia i wynosi:

- przy mieleniu grubym (w młynach autogenicznych) do 500 mm,
- przy mieleniu na sucho (drobnym i bardzo drobnym) 10÷80 mm – do młynów kulowych,
- przy mieleniu na mokro (drobnym i bardzo drobnym) 5÷40 mm - do młynów kulowych i prętowych.

W przemyśle górniczym przy mieleniu rud miedzi stosuje się młyny grawitacyjne kulowe i prętowe do mielenia na mokro, a zmielona ruda powinna mieć uziarnienie o p.n.s. (pozostałość na sicie) 75 μm poniżej 15% [9]. W procesach rozdrabniania i wzbogacania rud miedzi największą część kosztów (około 50%) stanowią koszty mielenia [10]. Na świecie, rudy innych metali (cynku, ołowiu i innych) miele się znacznie drobnej - do uziarnienia o $d_{90}=20 \mu\text{m}$ [11]. Wówczas młyny kulowe zastępowane są często młynami mieszadłowymi

[Read more](#)

Główne wady młynów grawitacyjnych, to:

znaczny jednostkowy pobór energii - znacząco większy od młynów wibracyjnych oraz mieszadłowych – zwłaszcza przy wytwarzaniu produktu mielenia o uziarnieniu poniżej 50 μm ,

duże wymiary i duża masa,

duża powierzchnia zabudowy oraz kubatura młynowni,

długi czas retencji – nawet do ponad 20 minut, co utrudnia jego sterowanie,

znaczna szkodliwość oddziaływania na otoczenie (emisja ciśnienia akustycznego od ponad 90 dB dla młynów małych do ponad 125 dB dla młynów dużych).

Pomimo tych wad prostota budowy oraz duża ich trwałość powoduje, że są dalej eksploatowane i produkowane, przy czym projektuje się je na okres eksploatacji minimum 35 lat.

Młyny bębnowe, rurowe, kulowe i prętowe

Sposoby pracy grawitacyjnego młyna rurowego

W młynie grawitacyjnym występują trzy podstawowe sposoby pracy - przedstawione na rysunku 6.1. Są to: kaskadowy, wodospadowo-kaskadowy i wodospadowy (kataraktowy). Każdy ze sposobów stosowany jest do odpowiedniego wariantu mielenia.

Sposób kaskadowy (rys. 6.1 a), w którym dominuje ścieranie mielonego materiału stosuje się przy mieleniu drobnym, w którym podawana do młyna nadawa powinna mieć jak najdrobniejsze uziarnienie.

Sposób wodospadowy (rys. 6.1.c) z dominującym udziałem uderowego rozdrabniania materiału przez uderzanie mielników z wysokości – najkorzystniej około 0,75 średnicy komory, stosuje się przy mieleniu nadawy o największych wymiarach ziaren.

Sposób trzeci jest pewnym kompromisem dwóch wcześniej wymienionych sposobów. O wystąpieniu jednego z w/w sposobu działania młyna decyduje w największym stopniu prędkość obrotowa komory. Prędkość ta jest najmniejsza przy kaskadowym sposobie pracy ($0,5 \div 0,6$) nkr, średnia przy wodospadowo-kaskadowym ($0,6 \div 0,7$) nkr, a największa przy wodospadowym sposobie ($0,7 \div 0,8$) nkr [13]. W niektórych rozwiązaniach młynów autogenicznych, zwłaszcza przy mieleniu na sucho, prędkość obrotowa może być bliska prędkości obrotowej krytycznej [14].

Krytyczna prędkość obrotowa nkr (obr/min) jest to prędkość, przy której zachodzi równowaga sił: ciężkości i siły odśrodkowej działających na mielnik znajdujący się w najwyższym górnym położeniu dla konkretnej średnicy komory młyna [13] obliczana jest z wyrażenia:

Koszty energii pobieranej na procesy mielenia stanowią: w przemyśle rud około 50% wszystkich kosztów przeróbki i wzbogacania [19], a w przemyśle spoiw mineralnych przekraczają 80% [20].

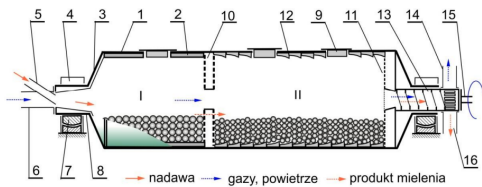
Budowa współczesnych młynów kulowych bębnowych

Budowa współczesnych młynów kulowych bębnowych ($L/D < 2$) i rurowych ($L/D > 2$):

a - bębnowy - okresowy, b - bębnowy sitowy, c - jednokomorowy przelewowy, d - jednokomorowy z przegrodą sitową, e - dwukomorowy z rozładunkiem końcowym, f - jednokomorowy z rozładunkiem peryferyjnym końcowym, g - trzykomorowy z rozładunkiem peryferyjnym środkowym, h - z obustronnym dozowaniem

nadawy i odbiorem produktu mielenia (tylko do mielenia węgla), i - prętowy z końcowym rozładunkiem, j - prętowy ze środkowym rozładunkiem, k - walcowo-stożkowy, l - bębnowy z walczakiem napędzanym na obwodnicy, m - dwukomorowy z łożyskowaniem hydrostatycznym walczaka (największe młyny), L - długość komory (komór), D - średnica komory

[Read more](#)

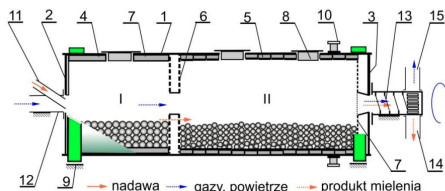


Budowa i elementy robocze młynów grawitacyjnych

Typowy młyn grawitacyjny (jego część mechaniczna) stosowany do mielenia w sposób ciągły zbudowany jest z następujących podzespołów:

- walczaka z włazami,
- dwóch dennic (jednej z czopem wlotowym - załadowniczym, drugiej z czopem wylotowym - rozładowniczym),
- przegród sitowych,
- wykładzin (I i II komory),
- dwóch węzłów łożyskowania,
- napędu

Rys. 6.11. Ogólna budowa typowego młyna grawitacyjnego: 1 - walec, 2 - wykładzina I-szej komory - progowa, 3 - dennica, 4 - osłona łożyska, 5 - wlot nadawy, 6 - wlot gazów lub powietrza, 7 - łożysko ślizgowe - wahliwe, 8 - czop wlotowy, 9 - właz, 10 - przegroda sitowa międzykomorowa, 11 - przegroda sitowa - wylotowa, 12 - wykładzina II-giej komory - samosortująca, 13 - czop wylotowy z wewnętrzną powierzchnią śrubową, 14 - wylot gazów lub powietrza, 15 - wał napędowy 16 - wylot produktu mielenia



Budowa nowoczesnego młyna grawitacyjnego o obniżonej masie oraz dużej wydajności

1 - walec, 2 - pokrywa walczaka od strony wlotu, 3 - pokrywa walczaka od strony wylotu, 4 - wykładzina I-szej komory, 5 - wykładzina II komory, 6 - przegroda sitowa międzykomorowa, 7 - przegroda sitowa wylotowa, 8 - właz, 9 - łożysko hydrostatyczne, 10 - koło napędu, 11 - wlot nadawy, 12 - wlot gazów lub powietrza, 13 - czop wylotowy z wewnętrzną powierzchnią śrubową, 14 - wylot produktu mielenia, 15 - wylot gazów lub powietrza

Duże młyny grawitacyjne kulowe i prętowe eksploatowane są tylko w układach mielenia pracujących w cyklu zamkniętym. Klasyfikatorami ziarnowymi są: hydrocyklony, multihydrocyklony, sita łukowe, klasyfikatory spiralne i inne - przy mieleniu na mokro. Przy mieleniu na sucho klasyfikatorami są separatory pneumatyczne - przy „najgrubszym” uziarnieniu

produktu mielenia – grawitacyjne (statyczne, inercyjne), przy drobniejszym – cyrkulacyjne i spiralne, a najnowsze młyny stosowane do mielenia na sucho wyposaża się w separatory turbinowe.