

Alojzy RYNCARZ

NOWA METODA WYZNACZANIA ENERGII ZUŻYWANEJ
W PROCESIE ROZDRABIANIA

Streszczenie. Zaproponowano nową metodę wyznaczania rzeczywistej energii potrzebnej do rozdrabiania w fazie projektowania nowej instalacji do mielenia. Stwierdzono, że energia ta może być obliczona na podstawie znanych wartości gęstości oraz indeksu pracy Bonda analizowanego materiału.

1. Wprowadzenie

Poszukiwania wzoru na zużywaną energię w procesie rozdrabiania odbywają się ciągle i jak dotychczas mało skutecznie. Podstawowym problemem jest wyznaczenie energii potrzebnej do zniszczenia materiału. Zależy one przede wszystkim od sposobu kruszenia i własności mechaniczno-mineralogicznych rozdrabianego materiału.

Kolejnym, niemniej ważnym, zagadnieniem jest problem przekazywania energii kruszonemu materiałowi, co można nazwać sprawnością urządzenia. Zależy ona głównie od rodzaju i konstrukcji urządzenia, zastosowanego do rozdrabiania. Wykazuje się, że np. energia rozchodowana w młynach na zmniejszenie wymiaru ziarn stanowi tylko 2-20% energii zużywanej przez urządzenie, w zależności od sposobu jej wyznaczenia.

Niezależnie od wszystkiego innego już dawno udowodniono, że zużycie energii zależy od zakresu rozdrabiania. Istnieje przewidywanie, że im na mniejsze ziarna materiał jest kruszony, tym wyższe jest zużycie energii.

Powyższe problemy wskazują, że niezmiernie ważne i aktualne, czekające na rozwiązanie, jest podanie sposobu wyznaczania energii, jaka musi być wytworzona w maszynie, zanim może ona doprowadzić do rozdrobienia materiału. Nad rozwiązaniem tego trudnego i skomplikowanego zagadnienia pracuje na świecie wiele zespołów badawczych, opracowując nowe hipotezy rozdrabiania. Aktualny stan wiedzy nie pozwala jednak na skuteczne rozwiązanie tego problemu. Wydaje się, że częściowe rozwiązania mogą stanowić postęp. Dlatego też celem tej pracy jest opracowanie metody prostego i praktycznego obliczania rzeczywistego zużycia energii na rozdrabianie w fazie projektowania nowej instalacji mielącej przy zastosowaniu wielkości, które można wyznaczyć w trakcie badań laboratoryjnych.

2. Energia potrzebna do rozdrabiania

Wyznaczenia energii zużywanej na rozdrabianie w istniejących i pracujących maszynach nie stanowi problemu. Odbyna się to przez rejestrację wskazów odpowiedniego miernika. Trudności z wyznaczeniem tej energii występują głównie w fazie projektowania i dobierania instalacji kruszącej. Projektant dysponuje wtedy najczęściej jedynie wynikami badań laboratoryjnych, a doboru urządzeń dokonuje w oparciu o analizy rozdrabiania innych instalacji przemysłowych oraz własnego doświadczenia. Zaprojektowany w ten sposób układ charakteryzuje się zbyt wysoką mocą zainstalowanych silników, a więc i za dużą energochłonnością. Dlatego istnieją pilne potrzeby opracowania na podstawie wyników badań laboratoryjnych sposobu wyznaczenia energii potrzebnej do rozdrabiania.

Jedno z aktualnie stosowanych podejść zakłada [1], że energia zużywana przez maszynę jest stała. Zmienna jest tylko energia zużywana przez materiał i jest ona wprost proporcjonalna do masy rozdrabianej. Wykazano, że istnieje ścisła liniowa zależność między całkowitą zużywaną energią i ciężarem rozdrabianego materiału. Stwierdzono również, że suma energii wymaganej do napędzenia maszyny nieobciążonej i energii zużywanej przy optymalnej wydajności jest zawsze stała i wynosi jeden. Obliczone tym sposobem zużycie energii dla różnych wielkości ziarn kruszonych w tym samym urządzeniu różni się nawet kilkakrotnie. Metoda ta nie może więc mieć większego praktycznego zastosowania.

Wyniki badań wskazują, że powtórne obciążenie ciała stałego identyczną wartością energii nie powoduje dalszego kruszenia [2]. Wzrost efektywności rozdrabiania w każdym następnym etapie może być uzyskany przy użyciu wyższej wartości energii.

Należy sądzić o istnieniu pewnej progowej wartości energii, będącej funkcją uziarnienia materiału, którą należy przekroczyć, aby nastąpił pozytywny efekt rozdrabiania [3, 4].

Efekt ten to nowy skład granulometryczny materiału rozdrobionego. Dlatego wyznaczając energię potrzebną do rozdrabiania, należy szukać korelacji pomiędzy jednostkową energochłonnością kruszenia oraz uziarnieniem materiału wyjściowego i końcowego. Wielkością łączącą wszystkie wyżej wymienione czynniki jest trzecia teoria rozdrabiania Bonda.

Bond [5] wyprowadził równanie, określające zużycie energii potrzebnej do rozdrabiania jednostki ciężaru, w oparciu o funkcję odwrotności pierwiastka kwadratowego wielkości otworów sita, przez które przechodzi 80% produktu rozdrabiania. Matematyczną postać teorii Bonda ujmuje wzór:

$$W = 10 W_1 \left(z_2^{-\frac{1}{2}} - z_1^{-\frac{1}{2}} \right) \quad (\text{kWh}), \quad (1)$$

gdzie:

z_1, z_2 - wielkości materiału przed i po rozdrobieniu (μm),

W_1 - stała danego materiału określająca jego podatność na rozdrabnianie i znana jako indeks pracy Bonda (kWh/t).

3. Obliczenie energii zużywanej na rozdrabnianie przy użyciu indeksu pracy Bonda

Kihlstedt [1] badał związek pomiędzy powierzchnią ziarn a ich składem granulometrycznym. Stwierdził on, że związek między tymi wielkościami jest prawie stały i wynosi:

$$\frac{1}{z^2} \cdot s \approx 750, \quad (2)$$

gdzie:

s - powierzchnia jednostkowa w (cm^2/cm^3),

z - wielkość otworów w sicie, przez które przechodzi 80% ziarn w (cm).

Wartość tego iloczynu zmienia się wraz z wielkością ziarn, lecz dla zakresu mielenia $75 \mu\text{m} - 50000 \mu\text{m}$ wynosi około 750.

Równanie (2) można łatwo doprowadzić do postaci:

$$\frac{1}{z^2} = \frac{s}{750}. \quad (3)$$

Proces mielenia prowadzi zawsze do podziału ziarn, a więc do powstania nowej powierzchni, którą można wyliczyć z zależności:

$$s_2 - s_1 = 750 \left(\frac{1}{z_2^2} - \frac{1}{z_1^2} \right), \quad (4)$$

gdzie:

s_1 i s_2 - powierzchnia jednostkowe badanego materiału przed i po mieleniu,

z_1 i z_2 - wielkość otworów w sicie, przez która przechodzi 80% ziarn przed i po mieleniu.

Gdy przez δ oznaczymy gęstość analizowanego materiału w g/cm^3 , to przyrost powierzchni na jednostkę ciężaru wyniesie:

$$\frac{s_2 - s_1}{\delta} = \frac{750}{\delta} \left(\frac{1}{z_2^2} - \frac{1}{z_1^2} \right) \quad (\text{cm}^2/\text{g}). \quad (5)$$

Jeżeli przez W oznaczymy ilość energii w (J/g), jaką pochłania powstanie nowej powierzchni, to iloraz tych wielkości może być nazwany jednostkowym zużyciem energii w_k .

$$w_k = \frac{W}{\gamma \left(z_2^{-\frac{1}{2}} - z_1^{-\frac{1}{2}} \right)} \quad (\text{J/cm}^2) \quad (6)$$

Po uproszczeniu:

$$w_k = \frac{\gamma \cdot W}{750 \left(z_2^{-\frac{1}{2}} - z_1^{-\frac{1}{2}} \right)} \quad (\text{J/cm}^2) \quad (7)$$

Wyznaczając w_1 z równania Bonda (1), otrzymamy:

$$w_1 = \frac{W}{10 \left(z_2^{-\frac{1}{2}} - z_1^{-\frac{1}{2}} \right)} \quad (8)$$

W równaniu Bonda wielkości ziarn z_1 i z_2 wstawiane są w μm , natomiast we wzorze Kihlstedta z_1 i z_2 posiada wymiar cm. Równanie (8) po zmianie jednostek z_1 i z_2 z μm na cm przyjmie postać:

$$w_1 = \frac{W}{10^3 \left(z_2^{-\frac{1}{2}} - z_1^{-\frac{1}{2}} \right)} \quad (9)$$

Wstawiając zależność (9) do równania (7), otrzymamy wzór do obliczania rzeczywistej energii zużywanej na rozdrabnianie:

$$w_k = 1,33 \cdot \gamma \cdot w_1, \quad (\text{J/cm}^2). \quad (10)$$

Z uzyskanej zależności widać, że rzeczywista energia zużywana na rozdrabnianie w młynie kulowym zależy od gęstości mielonego materiału γ oraz wartości indeksu pracy Bonda w_1 . Metody określania gęstości ciał stałych są proste w wykonaniu i powszechnie znane. Oznaczenie indeksu pracy jest dotychczas w kraju mało rozpowszechnione. Można jednak znaleźć opis wyznaczenia w_1 sposobem z definicji w pracy [6] i metodą uproszczoną w pracy [7]. Wartości rzeczywistej energii zużywanej na rozdrabnianie można wyliczyć więc na podstawie danych uzyskanych z doświadczeń.

Wyprowadzony wzór do obliczania rzeczywistej energii zużywanej na rozdrabnianie może być stosowany tylko do zakresu mielenia, ze względu na ograniczony przedział, w którym zależność Kihlstedta jest stała. Wydaje

się, że zaproponowana metoda może być użyta również do obliczania rzeczywistej energii potrzebnej na rozdrabianie w wyższych zakresach kruszenia. Korekcie ulec musi wtedy wartość stałej we wzorze (10) odpowiednio do zmian wartości iloczynu powierzchni i wielkości ziarn w zależności Kihlstedta.

Do doświadczeń wyznaczania gęstości oraz indeksu pracy Bonda użyto koncentratów węgla kamiennych typu 32 z KWK "Rydułtowy", typu 33 z KWK "Sośnica" i typu 34 z KWK "Chwałowice" oraz kwarcyty ze złoża Bukowa Góra w rejonie Kielc i rudy cynkowo-ołowiowej z ZGH "Bolesław" w Bolesławiu koło Olkusza. Oznaczenie indeksu pracy przeprowadzono sposobem z definicji. Uzyskane wyniki badań oraz obliczone wartości rzeczywistej energii zużywanej na rozdrabianie zestawiono w tabelicy 1.

Tabelica 1

Wpływ indeksu pracy Bonda oraz gęstości mielonego materiału na wartość rzeczywistej energii zużywanej na rozdrabianie

Surowce	Gęstość ρ (g/cm ³)	Indeks pracy w_1 (J/g)	Energia rzecz. zużywana na rozdrabianie w_k (J/cm ²)
Węgiel typu 32	1,35	25,6	45,96
Węgiel typu 33	1,36	23,8	43,05
Węgiel typu 34	1,36	24,8	44,86
Kwarcyt	2,66	43,9	155,31
Ruda cynkowo-ołowiowa	2,92	88,9	345,25

4. Podsumowanie

Z tabelicy 1 widać, że rzeczywista energia potrzebna do rozdrabiania jest proporcjonalna do gęstości oraz wartości indeksu pracy Bonda badanego materiału. Należy podkreślić, że wielkości te powinny być wyznaczone w fazie badawczo-poznawczej, poprzedzającej etap projektowania instalacji rozdrabniającej. Wykonuje się je w celu określenia podatności na rozdrabianie i oznaczenia gęstości materiału. Wyznaczenie zużycia energii na rozdrabianie zaproponowaną metodą nie musi powodować wykonania dodatkowych badań laboratoryjnych.

Do wyznaczania mocy silnika, jaki powinien być zainstalowany w młynie, z wartości rzeczywistej energii zużywanej na mielenie wyznaczonej zaproponowaną metodą, należy znać powierzchnię ziarn na jednostkę ciężaru przed i po rozdrobieniu. Istnieje kilka sposobów wyznaczania powierzchni ziarn. Obserwuje się brak zgodności pomiędzy wynikami uzyskanymi różnymi sposobami, co wskazuje na to, że otrzymane wartości obciążone są pewnym błędem. W celu ograniczenia wielkości tego błędu należy stosować ten sam spo-

sób do wyznaczania powierzchni ziarn przed i po mieleniu. W fazie projektowania nowej instalacji rozdrabniającej charakterystykę ziarn przed i po kruszeniu bardzo często znane jest w pewnym przybliżeniu. Jest też zawężone, gdy nie prowadzono wcześniej badań na skalę przemysłową. Dlatego też użycie do wyznaczania mocy silnika młynowego powierzchni ziarn przed i po sieleńiu nie musi być obarczone większym błędem niż zastosowanie np. składu ziarnowego. Wpływ sposobu wyznaczania powierzchni ziarn na wartość mocy silnika maszyny kruszącej stanowi jednak osobny problem, który tylko jest sygnalizowany w tym opracowaniu.

Znajomość rzeczywistego zużycia energii na rozdrabnianie w fazie projektowania nowej instalacji mielącej powinno spowodować dobór maszyn napędzających o mocy zbliżonej do rzeczywistych potrzeb. Aktualnie dobór ten w większym stopniu opiera się na wyczuciu i doświadczeniu projektanta niż podstawach naukowych. Prowadzi to często do stosowania silników o zbyt dużej mocy. Wydaje się, że zaproponowana metoda jest krokiem przybliżającym rozwiązanie końcowe wyznaczenia energii zużywanej w procesie rozdrabniania, a już obecnie może przyczynić się do obniżenia wysokiej energochłonności procesu rozdrabniania.

LITERATURA

- [1] Lowrison G.Ch.: *Crushing and grinding*. Wyd. 1, Cleveland, Ohio, CRC Press INC, 1974.
- [2] Rink R., Tęsiorowski J., Walliach A.: *Badania młynów strumieniowych przeciwbieżnych I*. Prace Naukowe IK i ME, nr 3, Politechnika Wrocławska, 1970.
- [3] Chodek G.S., Wilsanski A.J.: *Niekotoryje woprosy strujnowo izmelczenijs. Inżynierno-fiziczeskij żurnał*, Tom VIII, nr 4, 1965.
- [4] Sokołowski M., Tyro G.: *Badanie procesu rozdrabniania uderowego*. Przegląd Mechaniczny nr 6, 1980.
- [5] Bond F.C.: *New ideas clarify grinding principles*. *Chemical Engineering*, nr 5, 1962.
- [6] Ryncarz A., Stobierski A.: *Indeks pracy Bonda a wydajność młynów przemysłowych*. *Rudy i Metale Nieżelazne* nr 12, 1982.
- [7] Ryncarz A.: *Uproszczona metoda oznaczania podatności na mielenie węgla*. *Przegląd Górniczy*, złożono do druku.

Recenzent: Doc. dr hab. Zygfryd NOWAK

Wpłynęło do Redakcji w listopadzie 1982 r.

НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Резюме

Предложено новый метод определения действительной энергии необходимой для измельчения применимый на этапе проектирования мельницы. Доказано, что эту энергию можно рассчитать на основе известных значений плотности и указателя работы Бонда анализированного материала.

NEW METHOD OF ASSIGNMENT OF THE ENERGY USED IN DISINTEGRATION PROCESS

Summary

A new method for assignment of a real energy to be used in disintegration is proposed to be applied in the design phase of a new mill installation is proposed. The energy may be found using known values of the density and the Bond index for analyzed material.