

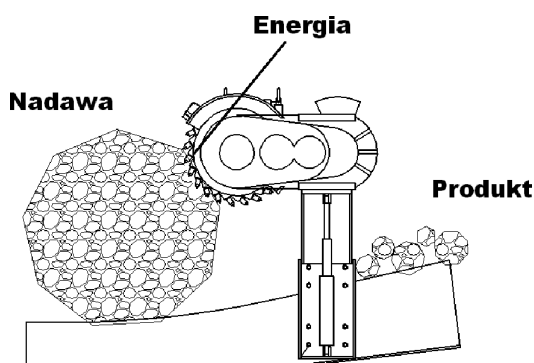
JACEK FELIKS
ARTUR FILIPOWICZ

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

Zastosowanie teorii rozdrabniania do doboru mocy w kruszarce węgla

Wprowadzenie

Budowa materiałów mineralnych poddawanych procesowi rozdrabniania uniemożliwia sformułowanie technicznie wiarygodnych zależności pomiędzy pracą włożoną w proces rozdrabniania i jego efektami. Schemat procesu rozdrabniania w analizowanej kruszarce pokazuje rys. 1.



Rys. 1. Proces rozdrabniania w kruszarce urobku

Wybór sposobu obliczeń

Wprowadzenie nadawy do maszyny rozdrabniającej, przekazującej energię powoduje wytworzenie produktu w postaci brył o mniejszych wymiarach. Ilość dostarczanej energii zależy od stopnia redukcji wymiarów bryły i od odporności nadawy na obciążenia powodujące rozdrobnienie.

Celem pracy jest wskazanie efektywnej metody określania zapotrzebowania mocy w projektowanej kruszarce urobku.

Teorie rozdrabniania

Energetyczną analizę procesu prowadzi się wykorzystując następujące teorie rozdrabniania [1, 2]:

- Rittingera (1867),
- Kicka (1885),
- Bonda (1952), z rozwinięciem Svensona i Murkesa oraz Holmsa,
- Bracha (1962), z rozwinięciem Sokołowskiego.

Teoria Rittingera (powierzchniowa) zakłada proporcjonalność energii dostarczanej do nowoutworzonej powierzchni swobodnej ziarna.

Podstawowa zależność opisująca tą teorię to:

$$E = E_r S \quad (1)$$

gdzie:

- E – energia rozdrabniania,
- E_r – energia jednostkowa,

S – powierzchnia wytworzona w wyniku rozdrabniania.

Zakładając, że bryła wyjściowa mająca kształt sześcianu o boku D , została podzielona na n identycznych sześcianów o boku d , można obliczyć różnicę pomiędzy powierzchnią wytworzoną i wyjściową, oraz określić energię rozdrabniania jako:

$$E = E_r (6nd^2 - 6D^2) = E_r \left[6n \left(\frac{D}{\sqrt[3]{n}} \right)^2 - 6D^2 \right] \quad (2)$$

Po odniesieniu powyższej zależności do masy bryły wejściowej $\rho D^3 = \rho \left(\frac{D}{\sqrt[3]{n}} \right)^3 = \rho nd^3$ (gdzie ρ to gęstość materiału), uzyskuje się zależność:

$$E = E_r \frac{6}{\rho} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) = E_r \frac{6}{\rho} \left(\sqrt[3]{n} - \frac{1}{D} \right) \quad (3)$$

Przyjęcie stałej proporcjonalności $E_r \frac{6}{\rho} = K_r$, umożliwia zapisanie zależności w postaci:

$$E = K_r \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \quad (4)$$

Zależność (4) jest słuszna wyłącznie wtedy, gdy ziarna nadawy i produktu mają taki sam stosunek powierzchni do objętości.

Teoria Kicka (objętościowa) zakłada, że energia potrzebna do skruszenia bryły jest proporcjonalna do jej objętości. Praca kruszenia według Kicka to:

$$E = K_k \log \left(\frac{D}{d} \right) \quad (5)$$

gdzie: K_k – współczynnik proporcjonalności według Kicka.

Energia obliczona z tego wzoru pozwala na określenie granicznej wytrzymałości ciała. Opracowania Kicka dotyczyły problemów związanych ze skruszeniem pojedynczej bryły i nie odnoszą się bezpośrednio do procesu przemysłowego rozdrabniania.

Teoria Bonda znacząco zmienia sposób opisywania energii potrzebnej do rozdrobnienia bryły. Bond przyjął, że rozdrabnianie jest fragmentem przemiany bryły o wymiarze nieskończenie dużym na nieskończenie wiele brył o wymiarze zerowym. Hipoteza ta zakłada, że energia zawarta w bryle jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego umownego rozmiaru ziarna. W nadawie i produkcie pojawiają się bryły o różnych wymiarach. Bond przyjął za wymiar reprezentujący różnowymiarową grupę rozmiar osiemdziesię-

cioprocentowych (D_{80} – dla nadawy i d_{80} – dla produktu). Według powyższych założeń poziom energii grupy ziarn, odniesiony do jednostki ich całkowitej masy jest proporcjonalny do $\sqrt{D_{80}}$, a energia rozdrabniania jest proporcjonalna do różnicy poziomów energetycznych ziarn nadawy i produktu:

$$E = K_{BO} \left[\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right] \quad (6)$$

gdzie K_{BO} – współczynnik proporcjonalności *Bonda*.

W swojej teorii wprowadził pojęcie *work index* W_i – określający odporność materiału na rozdrabnianie. Współczynnik *Bonda* K_{BO} jest związany z wartością W_i :

$$K_{BO} = 10W_i \quad (7)$$

Wartość współczynnika W_i można zdefiniować jako pracę rozdrabniania jednostki masy ciała od wymiaru nieskończenie dużego do wymiaru 100 [μm].

W wyniku badań nad możliwością uogólnienia teorii *Bonda* powstały empiryczne zależności *Svensona* i *Murkesa* (1956) oraz wzór *Holmsa* (1958).

Hipoteza Bracha (wielokrotności pracy kruszenia) przyjmuje, że bryła poddana obciążeniu, po przekroczeniu właściwej dla niej energii odkształcenia, rozpada się na części.

Pierwsze założenie opisuje rozkruszenie bryły o rozmiarze D w wyniku, którego powstają bryły o wymiarze d_1 :

$$d_1 = \frac{D}{a} \quad (8)$$

gdzie: a – wskaźnik pojedynczej redukcji, będący wartością stałą dla kruszonego materiału.

W kolejnych cyklach rozdrabniania wymiary brył wyjściowych uzyskują wymiary:

$$d_2 = \frac{D}{a^2}; \quad d_3 = \frac{D}{a^3}; \quad d_4 = \frac{D}{a^4} \dots \quad (9)$$

Kolejnym założeniem tej hipotezy jest przyjęcie zależności pomiędzy jednostkową energią rozdrabniania (odniesioną do jednostki masy) i wymiarem bryły.

Jednostkowa energia rozdrabniania E_j (potrzebna do jednokrotnego rozkruszenia jednostki masy ciała o wymiarach ziaren D) wzrasta ze zmniejszaniem wymiaru kruszonych brył:

$$E_j = E_1 \left(\frac{D_0}{D} \right)^m \quad (10)$$

gdzie

E_1 – praca potrzebna do jednokrotnego rozkruszenia jednostki masy brył o wymiarze D_0 ;

m – wykładnik ustalany doświadczalnie.

Po przekształceniu zależności i przyjęciu powyższych założeń uzyskuje się formułę:

$$E = K_B \left(\frac{1}{d^m} - \frac{1}{D^m} \right) \quad (11)$$

stanowiącą uogólnioną postać teorii *Bonda* (6).

Teoria *Bracha* i inne sformułowane od 1952 hipotezy (np. *uogólniona hipoteza rozdrabniania – Sokołowskiego*) za punkt wyjścia przyjmują teorię *Bonda*.

Wyznaczenie zapotrzebowania mocy

Wyniki analizy wykazują, że najprostszą do zastosowania w praktyce jest hipoteza *Bonda*. Za jej wykorzystaniem przemawia to, że wartość parametru W_i , decydującego o wartości współczynnika K_{BO} została wyznaczona przez wiele ośrodków badawczych i stabilizowana. Wartość W_i wynosi 13÷14, więc:

$$K_{BO} = 10W_i = 130-140 \quad (12)$$

Promieniowa wysokość noży urabiających zamocowanych na bębnie roboczym kruszarki wynosić będzie $h_r = 100$ [mm], założono więc, wymiar ziarn produktu:

$$d_{80} = 0,9h_r = 90 \text{ [mm]} \quad (13)$$

Wstępnie przyjęte gabaryty urządzenia mogą powodować problemy podczas rozdrabniania brył nadawy o rozmiarze większym niż 1500 [mm], nawet przy maksymalnie wysokim położeniu bębna roboczego.

Przyjęto rozmiar brył nadawy:

$$D = D_{80} = 1500 \text{ [mm]} \quad (14)$$

Przyjmując zatem, że rozmiar D_{80} brył transportowanych na przenośniku zgrzeblowym równy jest $D = 1,5$ [m], a rozmiar ziarn będących produktem rozdrabniania d_{80} (skrawania) to $d = 0,9h_r = 90$ [mm] i wykorzystując hipotezę *Bonda* (6) można w przybliżeniu określić pracę potrzebną w procesie jako:

$$E = 10W_i \left(\frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right) = 140 \left(\frac{1}{\sqrt{0,09 \cdot 10^6}} - \frac{1}{\sqrt{1,5 \cdot 10^6}} \right) \quad (15)$$

Założenie wydajności $Q = 500$ [t/h] umożliwia określenie zapotrzebowania mocy:

$$P = 176 \text{ [kW]} \quad (16)$$

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonej analizy umożliwiły dobór mocy napędu dla kruszarki urobku, której produkcja wdrażana jest w *RFM Ryfama*. Badania stanowiskowe wykazały poprawność metody doboru mocy.

LITERATURA

1. A. Siwiec: Archives of Mining Science. 46, nr 4 (2001).
2. M. Sokołowski: Energia Rozdrabniania, IMBiGS, Warszawa 1995.

Praca powstała w wyniku realizacji projektu celowego ZR8 2007 C/06907