ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: ENERGETYKA z. 113 Nr kol. 1105

Kazimierz MROCZEK

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska

ANALIZA WPŁYWU GEOMETRII UKŁADU MIELĄCEGO NA WYDAJNOŚĆ MŁYNA

Streszczenie. W pracy przedstawiono teoretyczno-eksperymentalną analizę zjawiska rozdrabniania w pierścieniowo-kulowym układzie mielącym. Na podstawie eksperymentu w skali półtechnicznej i laboratoryjnej wytypowano istotne elementy procesu (efektywność rozdrabniania, strumienie węgla w kierunku promieniowym i mielonym przez kule). Zbadano wpływ nacisku i liczby miażdżeń na efekt mielenia dla jednego rodzaju węgla oraz przedstawiono analityczny model jego przepływu. Na tej podstawie zbudowano model przemiału i dokonano jego cząstkowej weryfikacji.

1. WPROWADZENIE

W praktyce wydajność młyna określa producent podając tzw. wydajność podstawową uwzględniającą cechy konstrukcyjne układu mielącego przy pewnych umownych własnościach węgla i granulacji pyłu oraz współczynniki korekcyjne ujmujące własności paliwa (podatność przemiałowa, wilgotność itp.) i wymaganą jakość przemiału na jego rzeczywistą wydajność. Formuły (głównie empiryczne) spotykane w literaturze, dotyczące młynów pierścieniowo-kulowych, praktycznie nie uwzględniają wpływu cech geometrycznych komory mielenia (np. liczby i średnicy kul, kątów opasania itp.) na ich wydajność. Z tego powodu są mało przydatne w rozwijaniu i optymalizacji konstrukcji tych urządzeń. W związku z powyższym, na podstawie wyników badań młyna doświadczalnego [9,10,11] i dodatkowych pomiarów laboratoryjnych, wytypowano istotne elementy procesu przemiału i podjęto próbę jego analitycznego opisu. Dysponując dostatecznie ogólnym modelem zjawiska i częściową weryfikacją w skali półtechnicznej można, z dużym prawdopodobieństwem, przewidywać kierunki zmian cech konstrukcyjnych młynów przemysłowych.

W pracy omówiono czynniki wpływające na efektywność rozdrabniania (własności fizyczne warstwy węgla, nacisk na warstwę i krotność mielenia) i przedstawiono matematyczny model ruchu warstwy w układzie mielącym. Na tej podstawie zbudowano model procesu przemiału i przedstawiono wpływ wybranych cech geometrycznych (liczby i średnicy kul) oraz prędkości kątowej na wydajność młyna pierścieniowo-kulowego.

2. ANALIZA PROCESU ROZDRABNIANIA

Z analizy zjawiska rozdrabniania w niewentylowanym układzie mielącym wynika [10], że wydajność młyna można wyrazić iloczynem strumienia przepływającego mieliwa w kierunku promieniowym (B_m) oraz efektywności rozdrabniania (ΔR_{xm}):

$$B_x = B_m \Delta R_{xm} ; \quad \Delta R_{xm} = R_{xmI} - R_{xm0} . \tag{1}$$

Wielkość ΔR_{xm} określa przyrost masy produktu (pyłu) w zakresie frakcji o-x z jednostki masy mieliwa (R_{xmI}, R_{xm0} - pozostałość na sicie x w węglu przed i za układem mielącym). Przyjęto zasadę [10], że graniczny rozmiar produktu (x) należy przyjąć tak, aby skład ziarnowy nowo powstałego pyłu był zbliżony do charakterystyki pyłu uzyskiwanego w młynie przemysłowym. W zależności od założonej jakości przemiału wielkość ta wynosi ok. 0,15-0,20 mm. Tak określona efektywność mielenia jest wypadkową następujących wielkości:

- własności fizycznych i grubości warstwy mielonego węgla,
- jednostkowego nacisku na warstwę,
- krotności mielenia.

Krotność mielenia z fizycznego punktu widzenia oznacza liczbę miażdżeń danej masy mieliwa w czasie jej przechodzenia po wyżłobieniu pierścienia i można ją zdefiniować:

$$k_m = \frac{B_k}{B_m} , \tag{2}$$

gdzie: B_k - strumień węgla mielony przez kule w kierunku obwodowym.

Wartość $k_m > 1$ oznacza, że strumień węgla mielony przez kule jest większy od strumienia promieniowego, tzn. pewna część węgla jest mielona dwa lub więcej razy w czasie jej ruchu po wyżłobieniu.
Zaproponowano, aby wielkość ΔR_{xm} wyrazić iloczynem efektu rozdrabniania węgla doprowadzonego do komory przemiałowej przy jednostadiowym miażdżeniu (ΔR_x) i potęgowej funkcji krotności mielenia, przy czym ΔR_x uwzględnia nacisk oraz grubość i własności fizyczne miażdżonej warstwy.

$$R_{xm} = R_x k_m^q . \tag{3}$$

W analizie wpływu cech geometrycznych układu mielącego na jego wydajność bazowano na własnościach węgla z kop. Zabrze (wilgoć zbliżona do higroskopijnej, podatność przemiałowa ok. 62°H). Testowano dwie klasy ziarnowe 0-2 i 0-7,5 mm, przy czym skład drobnej nadawy był zbliżony do charakterystyki mieliwa w młynie wentylowanym [11].

Badania quasi-statycznego miażdżenia węgla pod tłokiem [13] i elementami walcowymi wykazały, że przy stałym nacisku na warstwę efekt rozdrabniania (ΔR_x) praktycznie nie zależy od grubości warstwy, jeżeli jej początkowa grubość jest większa od dwóch średnich rozmiarów ziarna. Wniosek ten oznacza, że mielenia w stosunkowo grubych warstwach lub przy stosowaniu drobnej nadawy powoduje wyeliminowanie wpływu grubości warstwy na efekt rozdrabniania.

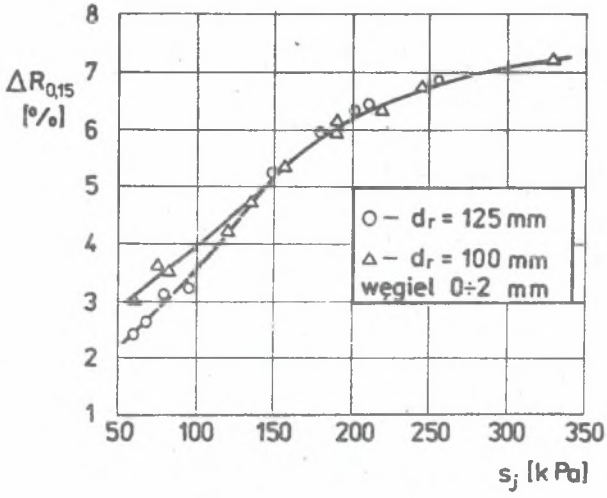
Wyniki pomiarów miażdżenia pod rolką wykazały znaczny wpływ jednostkowego nacisku (s_j) na ΔR_x.

$$s_j = \frac{S_r}{d_r\, l_r}, \tag{4}$$

gdzie: S_r - całkowity nacisk na rolkę,

d_r, l_r - odpowiednio średnica i długość rolki.

Efekt mielenia (rys.1) rośnie praktycznie liniowo wraz z jednostkowym naciskiem do pewnej granicy (ok. 180 kPa), po czym przyrost funkcji maleje. Podobny przebieg posiada charakterystyka względnych odkształceń warstwy, z tym, że dynamika zmian jest znacznie mniejsza, przy dużych naciskach następuje proces utwardzania warstwy (odkształcenia są praktycznie stałe). Pomiary miażdżenia pod rolką wykazały także pewną zależność granicznej grubości warstwy wciąganej (f^m) od nacisku i względnej długości rolki(l_r/d_r).

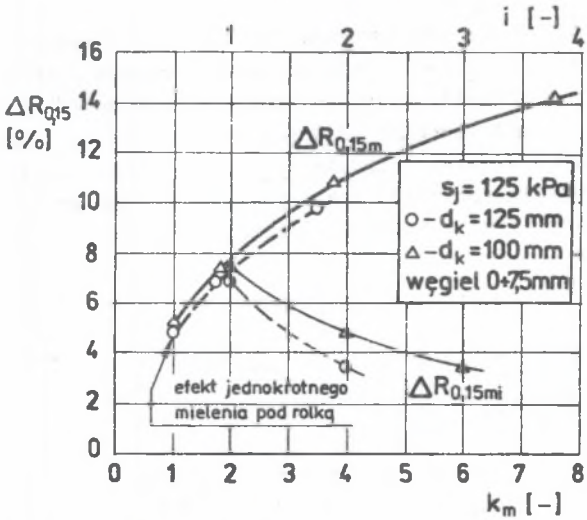


Rys. 1. Zależność efektu rozdrabniania od nacisku

Fig. 1. Depedence of effect of grinding from unit pressure.

Przy $s_j \cong 200$ kPa i $l_r/d_r = 0,5$ graniczna grubość warstwy $f^m = 0,045\ d_r$.

Przeprowadzone pomiary wielokrotnego mielenia (bez separacji gotowego produktu) w niewentylowanym układzie mielącym wskazują (rys. 2), że efekt rozdrabniania (ΔR_{xmi}) spada wraz z liczbą mieleń (i). Obniżanie się efektywności rozdrabniania węgla zawierającego coraz większy udział cząstek dostatecznie zmielonych wywołane jest utwardzaniem się węgla (w pierwszej kolejności rozdrabniają się składniki stosunkowo miękkie) [2] oraz zwiększonym rozpraszaniem dostarczonej energii [6]. Całkowity efekt rozdrabniania po i- tym mieleniu ΔR_{xm}, określony jako suma efektów cząstkowych ($\Delta R_{xm} = \sum_i \Delta R_{xmi}$) w funkcji obliczeniowej krotności mielenia, ma charakter wykładniczy. Podane wartości k_m zostały wyznaczone z iloczynu liczby mieleń i teoretycznej wartości krotności dla jednostadiowego mielenia (wzór 2). Przyjęta zależność potęgowa (3) dostatecznie dokładnie oddaje charakter efektywności wielokrotnego mielenia. Obliczony dla klasy 0-7,5 mm wykładnik wynosi $q \cong 0,5$, natomiast dla młyna wentylowanego wartość ta będzie większa (bardziej jednorodne składniki mieliwa pod względem wytrzymałości).

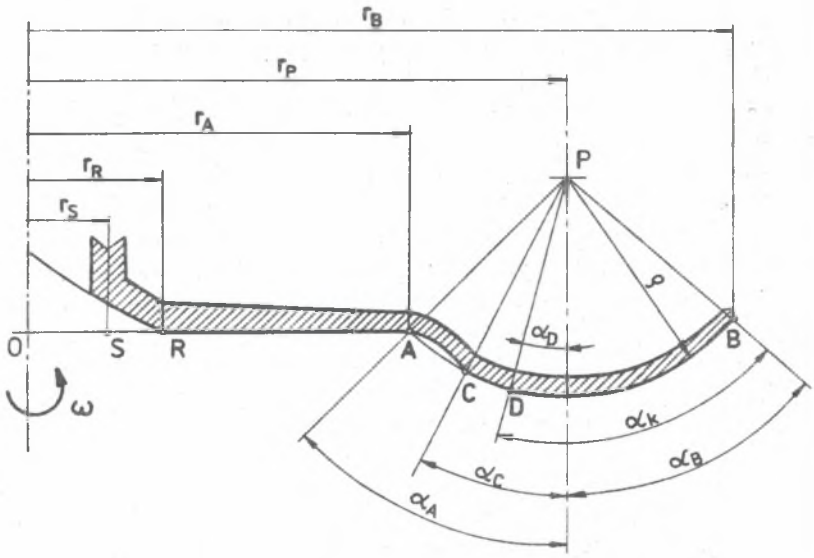


Rys. 2. Wpływ liczby miażdżeń na efektywność rozdrabniania
Fig. 2. Influence of numbers crushing on effektiveness of grinding.

Podsumowując, przy wysokich naciskach i zastosowaniu odpowiednich prędkości kątowych ($k_m \approx 1$) wielkość ΔR_{xm} będzie mało zmienna. Głównymi więc czynnikami decydującymi o wydajności układu mielącego pozostaną zależności kinematyczne. W młynie wentylowanym gorącym czynnikiem wartość ΔR_{xm} mieliwa będzie inna niż dla badanego węgla (inne udziały poszczególnych składników petrograficznych i mineralnych, wpływ temperatury). Jednak ogólne prawa rozdrabniania powinny obowiązywać i w tym przypadku.

3. MODEL PRZEPŁYWU WARSTWY MIELIWA

W rzeczywistości przepływ materiału sypkiego, jakim jest mieliwo węglowe w pierścieniowo-kulowym układzie mielącym, jest zjawiskiem złożonym. Do matematycznego opisu zjawiska wprowadzone zostały pewne uproszczenia, które w znacznej mierze wynikły z badań jednostadiowego rozdrabniania w niewentylowanym układzie mielącym [10] oraz analiz literaturowych [1, 3, 5, 7, 12]. Równania przepływu wprowadzono na podstawie równań zachowania pędu płynu doskonałego [4], przy uwzględnieniu tarcia suchego na powierzchniach elementu masy [5]. Ponieważ grubość warstwy poruszającego się mieliwa(f) jest mała w stosunku do rozmiaru kanału przepływowego oraz współczynnik tarcia wewnętrznego jest większy od współczynnika tarcia stali, za wysokość elementarnej masy przyjęto całkowitą grubość warstwy. Przy analizie zderzenia strugi mieliwa ze stołem lub inną strugą uznano, że materia strugi jest doskonale plastyczna. Pojęcie to związane jest ze stopniem rozproszenia energii strugi. Przyjęto, że pęd strugi w kierunku normalnym ulega całkowitemu rozproszeniu na skutek wymiany pędów pomiędzy cząstkami napływającymi i odbitymi od powierzchni, odkształceń plastycznych oraz międzycząsteczkowego tarcia.



r_S, r_R - promień podawania i równowagi dynamicznej,
r_P, ρ - promień podziałowy i wyżłobienia pierścienia,
α_A, α_B - wewnętrzny i zewnętrzny kąt opasania kuli,
α_C, α_D - kąt padania i wciągania strugi.

Rys. 3. Schemat przepływu węgla w układzie mielącym.
Fig. 3. Scheme of coal flow in grinding system.

Strumień mieliwa (rys. 3) dopływa do układu z odsiewacza na promieniu r_S z pewnej wysokości zależnej od cech geometrycznych młyna. Po zderzeniu ze stołem (pkt.S) wykonuje ruch osiowo-symetryczny z poślizgiem do wewnętrznej krawędzi wyżłobienia (pkt.A). Stąd następuje wyrzut i zderzenie strugi mieliwa z powierzchnią wyżłobienia (pkt. C). Przyjęto, że jeżeli prędkość obwodowa strugi jest większa od średniej prędkości mielenia (kul), następuje rozdrabnianie węgla przez kule. W przeciwnym razie struga porusza się z poślizgiem po wyżłobieniu do momentu osiągnięcia warunku mielenia (pkt. D). Miejsce to praktycznie odpowiada początkowi zalegania węgla na bieżni (punkt przecięcia się powierzchni stożkowej (5) przechodzącej przez pkt. B z powierzchnią wyżłobienia), [12].

$$\frac{dz}{dr} = \frac{\omega^2 r - g\mu_w}{\omega^2 r \mu_w + g}, \tag{5}$$

gdzie: ω - prędkość kątowa pierścienia,
g - przyśpieszenie grawitacyjne,
μ_w - współczynnik tarcia wewnętrznego.

Analizę ruchu przeprowadzono we współrzędnych walcowych (r - promień, β- współrzędna kątowa, z - oś obrotu) i w ruchomym układzie odniesienia związanym z obracającym się stołem. W ruchu względnym osiowo-symetrycznym na element warstwy mieliwa działają siły masowe: ciężkości (g), odśrodkowa ($p_o = \omega \times (\omega \times r)$) i Coriolisa ($p_c = 2\omega \times w$) oraz na powierzchni stołu: oddziaływanie normalne (n) i siła tarcia suchego (t). Siłę tarcia określono iloczynem oddziaływania normalnego i współczynnika tarcia. Przyjęto,że nie ma oddziaływania elementów warstwy w kierunku promieniowym.
Początek ruchu elementu na wirującej płaszczyźnie (r_R) wynika z równowagi sił odśrodkowej i tarcia. Przy podawaniu węgla na promieniu $r_S < r_R$ początek ruchu przyjęto w punkcie równowagi dynamicznej.

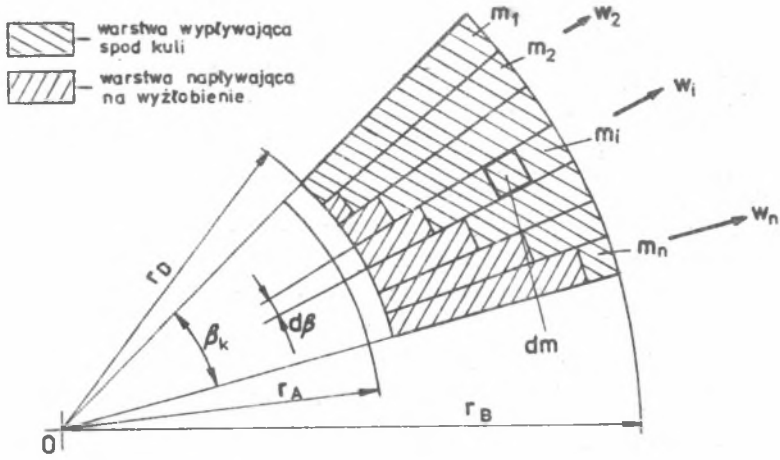
Równania przepływu rozwiązano przy uwzględnieniu zderzenia strugi z powierzchnią stołu. W ogólności po zderzeniu elementu masy mieliwa z dużą masą pęd elementu ulega zmianie na skutek odkształceń plastycznych i tarcia.Zakładając, że zderzenie ma charakter plastyczny i zachodzi z tarciem, po zderzeniu składowa normalna pędu ulegnie rozproszeniu,natomiast składowa styczna zmniejszy się na skutek działania impulsu siły tarcia. Ponieważ impuls siły tarcia jest iloczynem składowej normalnej pędu i współczynnika tarcia ze znakiem ujemnym, składową styczną pędu lub bezpośrednio prędkość elementu (w_τ) po zderzeniu wyznaczymy z zależności:

$$w_\tau = w_{\tau 1} - w_{\varrho 1}, \tag{6}$$

gdzie: $w_{\tau 1}$, $w_{\varrho 1}$ - prędkość styczna i normalna przed zderzeniem.

Obserwacje procesu przemiału w niewentylowanym układzie mielącym wskazują, że przepływ mieliwa po wyżłobieniu jest nierównomierny. Tworzenie się spiętrzenia, wynikające ze zmiany prędkości, spowodowane jest wymianą pędów strug napływających z kierunku promieniowego z masą węgla wypływającą spod kul. Założono, że do momentu zderzenia przepływ mieliwa jest osiowo symetryczny z poślizgiem, analogiczny do ruchu po płaskim stole. Miejsce zderzenia i równocześnie początek mielenia (pkt. D - rys. 3) wynika z warunku równości bezwzględnej prędkości elementu ($c_\beta = \omega r - w_\beta$) i kul ($c_k = \omega r_p/2$). Przyjęto, że toczenie się kul zachodzi na promieniu podziałowym. Na czynnym łuku wyżłobienia ruch warstwy w kierunku obwodowym determinuje zmielony węgiel wypływający spod kul z prędkością pierścienia.

Dla zobrazowania mechanizmu przepływu segment warstwy na czynnym łuku wyżłobienia (rys. 4) został podzielony na pewną liczbę strug (i = 1 do n) szerokości $d\beta$ i długości równej czynnemu łukowi bieżni ($l_k = \varrho \alpha_k$). W skład danej strugi wchodzi pozostała na bieżni część węgla zmielonego przez kulę oraz część, która napłynęła na wyżłobienie z kierunku promieniowego. Pierwsza struga wychodząca spod kuli posiada zerową prędkość względną. Pod wpływem wypadkowego przyśpieszenia uzyskuje się wyższą prędkość, by w momencie wejścia pod kolejną kulę osiągnąć wartość maksymalną. Przedstawiony rysunek ilustruje kolejne fazy ruchu strugi od momentu wyjścia spod kuli (struga 1) do momentu wciągania elementu pod następną kulę (struga n).



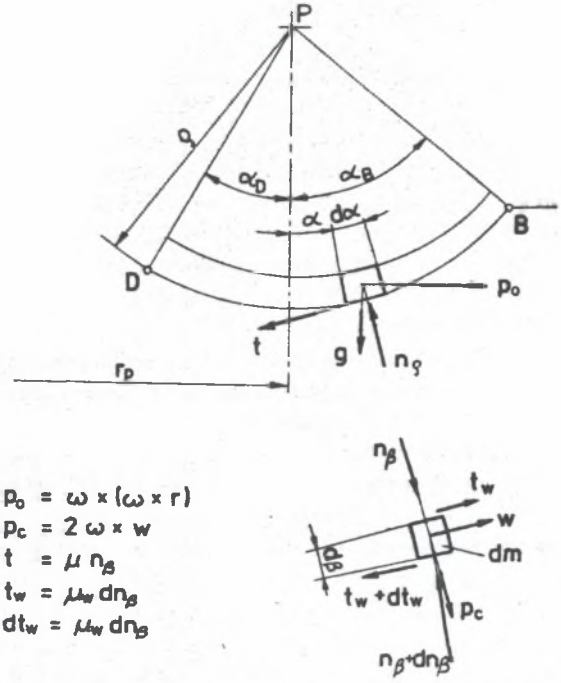
Rys. 4. Schemat przepływu warstwy mieliwa po wyżłobieniu.

Fig. 4. Flow diagram of layer of coal ring furrow.

W ruchu bez poślizgu na elementarną masę mieliwa, oprócz sił masowych, działa siła tarcia wywołana oddziaływaniem normalnym do powierzchni wyżłobienia oraz siły tarcia spowodowane oddziaływaniem normalnym i różną prędkością elementów w kierunku obwodowym. Wstępnie przyjęto, że nie ma oddziaływania między elementami w kierunku ruchu. We współrzędnych ϱ, α i β

- rys.5 ($r = r_p + \varrho \sin\alpha$, $z = \varrho \cos\alpha$) elementarną masę wyznaczymy z zależności:

$$dm = \varrho_w \; r \, \varrho \, d\varrho \; d\alpha \; d\beta \; ; \quad d\varrho = f. \tag{7}$$



Rys. 5. Siły działające na element warstwy mieliwa
Fig. 5. Forces acting on element of layer of coal.

Analizując ruch danego elementu warstwy na czynnym łuku wyżłobienia można wnioskować, że występuje oddziaływanie poszczególnych elementów w kierunku ruchu. Obliczając wartości przyśpieszenia elementu dla współrzędnych większych od zera ($r > r_p$) można stwierdzić, że wielkość ta maleje osiągając wartości ujemne. Aby częściowo uwzględnić oddziaływanie wsteczne a równocześnie uprościć zagadnienie przyjęto, że prędkości elementów danej strugi są takie same. W związku z tym. ruch elementu odbywać się będzie pod wpływem średniego przyśpieszenia wyznaczonego dla całkowitej masy strugi znajdującej się na czynnym łuku wyżłobienia. W analizie wzięto pod uwagę siłę dynamicznego oddziaływania strumienia z kierunku promieniowego. Przy zderzeniu doskonale plastycznym. składowa obwodowa siły dynamicznej nie wpłynie na ruch, natomiast jej składowa w kierunku α ($w_{\alpha D}$) spowoduje nacisk na czoło analizowanej strugi równy:

$$n_D = r_D \, f_D \, w_{\alpha D} \, (w_{\alpha D} - w) \, d\beta, \tag{8}$$

gdzie: f_D - grubość warstwy mieliwa przed zderzeniem,
w - prędkość rozpatrywanej strugi.

Całkując równanie ruchu podług współrzędnej α przy założeniu, że prędkości elementów są takie same i uwzględniając zależność (8) uzyskamy równanie ruchu postaci:

$$\frac{dw}{d\tau}\int_{\alpha_D}^{\alpha_B} dm = \int_{\alpha_D}^{\alpha_B}\left[\omega^2 r\,(\cos\alpha - \mu\sin\alpha) - g\,(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) - \right.$$

$$\left. - \mu\frac{w^2}{\varrho} - 2\,\mu_w\,\omega\cos\alpha\right] dm + n_D. \qquad (9)$$

Biorąc następnie pod uwagę, że $dw/d\tau = \omega\, dw/2\, d\beta$ (przy zmiennym rozkładzie masy pierwszej strugi na czynnym łuku bieżni) i całkując względem β, można wyznaczyć prędkości poszczególnych strug i średnią prędkość przepływu.

Strumienie mieliwa w kierunku promieniowym i rozdrabnianego przez kule wyznaczono ze wzorów:

$$B_m = 2\pi\phi\; r_B\, w_B\, f_B\, \varrho_w \;;\quad \phi = \frac{z_k\,(\varrho_k + f_k)\sin\delta}{2\pi r_P}, \qquad (10)$$

$$B_k = z_k\frac{\omega}{2} r_k\,\varrho\,\alpha_k\, f_k\,\varrho_{wk} \;;\quad r_k = r_P + \varrho\sin\frac{\alpha_B + \alpha_D}{2}, \qquad (11)$$

gdzie: ϱ_k, z_k - promień kuli i ich liczba,
w_B, f_B - średnia prędkość przepływu i grubość warstwy swobodnej w pkt. B wyżłobienia,
ϕ - współczynnik zmniejszenia przekroju (obecność kul),
f_k - grubość warstwy pod kulami,
δ - kąt wciągania warstwy ($\cos\delta = (\varrho_k - f_k)/\varrho_k$),
ϱ_w, ϱ_{wk} - gęstość warstwy swobodnej i pod kulą.

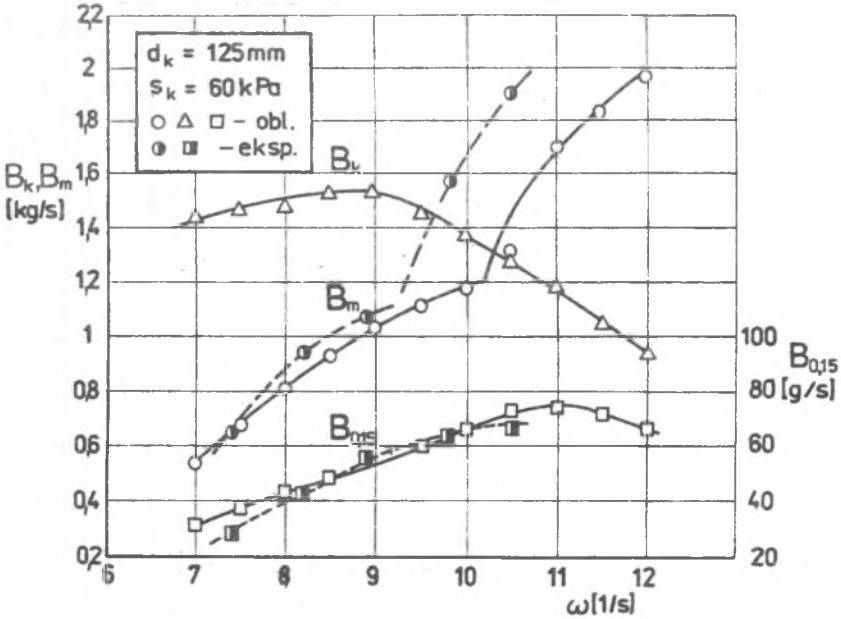
4. WYNIKI OBLICZEŃ I PODSUMOWANIE

Obliczenia wykonano dla układów mielących o różnej liczbie i średnicy kul dla bieżni symetrycznej (kąt opasania kuli $\alpha_{AB} = 90^\circ$), przy tej samej zewnętrznej średnicy pierścienia miażdżącego. Zmierzone średnie wartości współczynników tarcia węgla po stali i wewnętrznego węgla wynosiły odpowiednio $\mu = 0{,}45$ i $\mu_w = 0{,}75$. Do analizy numerycznej wprowadzono właściwości węgla uzyskane z badań laboratoryjnych (roz.2).

Przy weryfikacji badań niewentylowanego układu środkową część stołu traktowano jako płaską, pomimo istnienia konstrukcyjnego wgłębienia, ze względu

na centralne zasilanie. W analizie młyna wentylowanego, gdzie główny strumień podawany był w obszarze wgłębienia, początek ruchu przyjęto zewnętrzny promień wgłębienia. Model przepływu węgla sprawdzono w oparciu o wyniki badań niewentylowanego układu mielącego, gdzie bezpośrednio mierzono wartości B_m i ΔR_{xm} odpowiadające maksymalnej wydajności.

Analiza numeryczna (rys. 6) wykazała jakościową zgodność wyników obliczeniowych z doświadczalnymi. Obliczeniowe miejsce przesypywania się węgla (nagły wzrost B_m) występuje przy większej prędkości kątowej niż wynika to z pomiarów. Jedną z przyczyn tej niezgodności mogą być inne rzeczywiste wartości współczynników tarcia (prawdopodobnie wartości mniejsze [12]). Pomimo tego wydajność obliczeniowa i rzeczywista układu mielącego wykazuje dostateczną zgodność. Zależności wydajności (B) i strumienia mielonego w kierunku obwodowym (B_k) posiadają maksimum.



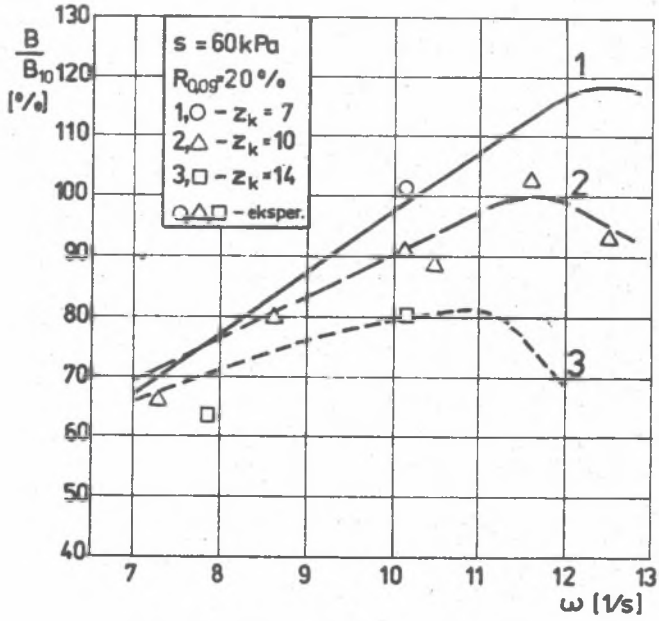
Rys. 6. Weryfikacja modelu przepływu węgla.

Fig. 6. Comparison numerical and experimental results of flow of coal.

Charakter przebiegu B_k wynika ze zmiany czynnego łuku mielenia, natomiast miejsce wystąpienia maksimum odpowiada warunkowi równości bezwzględnych prędkości mieliwa i kul (początek zjawiska omijania mieliwa przez kule na skutek zbyt dużego poślizgu warstwy).

Na rys. 7 przedstawiono względne wydajności (B/B_{10}) wentylowanych układów mielących o różnej liczbie kul, przy nacisku $s \approx 60$ kPa (obliczony z formuły S_k/d_k^2). Maksymalną wydajność układu 10-kulowego (B_{10}^m), zarówno obliczeniową jak i doświadczalną, przyjęto za 100 %. Obliczenia wykonano przy

uwzględnieniu właściwości węgla klasy 0-2 mm (rys. 1) i przyjęciu, że efektywność rozdrabniania ΔR_{xm} jest proporcjonalna do krotności mielenia k_m ($q = 1$).



Rys. 7. Wpływ liczby kul na wydajność młyna.

Fig. 7. Influence of numbers of ball on capacity of mill.

Wyniki obliczeń i naniesione punkty pomiarów 10-kulowego układu mielącego są zadowalająco zgodne. Utrzymane są także relacje między wydajnościami poszczególnych układów. W zakresie prędkości $\omega < 8$ 1/s występują większe odchylenia (dla układu 14-kulowego), prawdopodobnie wynikłe z nieuwzględnienia wpływu krotności mielenia. Wprowadzając rzeczywistą charakterystykę mieliwa wyniki byłyby dokładniejsze.

Zwiększenie nacisku kul powoduje wzrost wydajności do pewnej granicy, przy czym jej maksimum przesuwa się w kierunku mniejszych prędkości kątowych. W pracy [14] zaprezentowano model mielenia w układzie pierścieniowo-kulowym dotyczący głównie wpływu prędkości kątowej na wydajność młyna, przy założeniu stałego nacisku kul. Nie opisuje on zadawalająco wpływu liczby i średnicy kul oraz ich nacisku na wydajność młyna.

Niniejszy model przemiału w pierścieniowo-kulowym układzie mielącym został zbudowany na podstawie badania właściwości miażdżonej warstwy i uproszczony model przepływu węgla. Mechanizmami powodującymi wzrost wydajności układu z mniejszą liczbą kul o większej średnicy, częściowo potwierdzonymi doświadczalnie, są większa prędkość promieniowa mieliwa i czynny łuk opasania kuli.

Przedstawiony model symuluje wpływ podstawowych cech konstrukcyjnych młyna na jego wydajność,a wyniki obliczeń są jakościowo zgodne z wynikami pomiarów młyna doświadczalnego i mogą być wykorzystane do analizy pracy młynów przemysłowych.

LITERATURA

[1] Romadin V.P.: Pyleprigotovlenie. Gosenergoizdat, Moskva - Leningrad 1953

[2] Maruyama T.: Grindability of coal. Effect of crystalline mineral matter in coal on the grindability. Opracowanie Hokkaido Industrial Research Institute. Hokkaido 1966.

[3] Mc Kenzie E.C.: Postęp w budowie młynów pierścieniowo-kulowych. Referat na konferencję "Przemiał węgla w elektrowniach". Warszawa 1967. Wydawnictwo Babcock and Wilcox Ltd., Londyn 1967.

[4] Troskolański A.T.: Hydromechanika. PWN, Warszawa 1967.

[5] Gorbis E.R.: Teploobmen i gidromechanika dispersnych skvoznych potokov. Energija, Moskva 1970.

[6] Chodakov G.S.: Fizika izmielčenija. Nauka, Moskva 1972.

[7] Bobiec E., Krajewski W.: Rozwój produkcji młynów pierścieniowo-kulowych w FPM. Energetyka Nr 10, 1983.

[8] Korzuch St.: Zbiorcze charakterystyki młynów pierścieniowo-kulowych i misowo-rolkowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Energetyka z. 94 Gliwice 1986.

[9] Czepiel J., Mroczek K.: Wpływ cech konstrukcyjnych młyna pierścieniowo-kulowego na jego wydajność w oparciu o badania na stanowisku doświadczalnym IMiUE Politechniki Śląskiej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Energetyka z. 94 Gliwice 1986.

[10] Czepiel J., Mroczek K.: Badania modelowe układu mielącego młyna pierścieniowo-kulowego. Część I, II. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Energetyka z. 104 Gliwice 1988.

[11] Praca zbiorowa: Budowa i eksploatacja młynów do przemiału węgla. Materiały II konferencji naukowo-technicznej. Rydzyna 1988.

[12] Osokin V.P., Ušakov S.G., Pesnochorova O.A.: Optimalnaja skorost vraščenia stola srednechodnych melnic. Energomašinostroenie Nr 6, 1989.

[13] Czepiel J.: Badania właściwości fizycznych węgla kamiennego - dane wejściowe do modelowania procesu przemiału. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Energetyka z. 105 Gliwice 1989.

[14] Czepiel J.: Wpływ prędkości kątowej układu mielącego na wydajność młyna pierścieniowo-kulowego. Praca doktorska. Gliwice 1990.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Władysław GAJEWSKI

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ РАЗМОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МЕЛЬНИЦЫ

Резюме

В докладе представлено теоретическо-экспериментальный анализ процесса измельчения в кольцево-шаровых размольных системах. На основании результатов измерений мельницы полтехнического масштаба и добавочных лабораторных исследований определено главное элементы процесса (струи угля в радяльном направлении и размалываего шарами а также эффективность измельчения угля). Обсуждено факторы которые имеют влияние на эффективность измельчения таке как физические свойства слоя угля, нажим, кратность измельчения и представлено математическую модель движения слоя угля. На основании этого разработано модель размола симулирующий влияние геометрических и режимных факторов на производительность размольной системы. Эта зависимость в функции частоты вращения стола имеет максимум. При знаных свойствах измельчаемого материала можно из модели вычислить приближенную производительность мельницы.
Экспериментальные и вычисленные результаты совпадают для размольной системы с 10-тью шарами. Подтверждено тоже гипотезу, что при постоянном габарите размольной камеры, система с меньшим числем шаров достигают большую производительность. Следует заметить, что повышение производительности возникает с выших радяльной скорости угля и активного лука измелчения. Представленый общий модель размола может быть использован до конструкции и анализы работы промышленных установок.

THE INFLUENCE OF GEOMETRY OF GRINDING SYSTEM ON THE MILL OUTPUT

Summary

In this paper theoretical-experimental analisys of grinding process in ring-balls milling system has been described. On the basis of obtained measurments of a pilot plant scale and additional laboratory exploration, essential elements of milling process have been selected. These are: stream of coal particles in radial direction, stream ground by balls, effectivity of grinding. Such factors which influence on effectivity of grinding as physical properties of layer of coal, pressure and ratio of milling has been discussed and mathematical model of movement of coal layer has been presented. Knowing the

charakteristic of milling material, one can estimated the mill output from the model. That dependence as a function of radial velocity has a maximum.

The experimental and numerical results of the milling unit with 10 balls are in good agreement. The hypotesis, that the milling system with fewer balls has a higher output for given mill size has been confirmed. It is the result becouse of the radial velocity is higher and the furrow of ring is longer.

The general model of milling can be used for designing and analisys of working conditions of the industrial mills.