

Andrzej ŚLĄCZKA
Politechnika Śląska, Gliwice

ZAWIESINOWE PALIWA WĘGLOWO-WODNE (ZPWW). MIELENIE WĘGLA

Streszczenie. Przeprowadzono próby mielenia węgla z zastosowaniem młynów kulowego oraz wibracyjnego. Mielenia w młynie kulowym prowadzono na sucho i na mokro, a w młynie wibracyjnym wyłącznie na sucho. Stosowano różne rodzaje mielników. Stwierdzono, że przy użyciu młyna wibracyjnego można uzyskać produkt posiadający cechy układu bimodalnego, mogący znaleźć zastosowanie do wytwarzania zawiesinowych paliw węglowo-wodnych.

COAL WATER SLURRY FUELS (CWSF). COAL MILLING

Summary. The experiments of milling of coal with vibratory and ball mills were performed. Using the vibratory mill the process was done as a dry grinding, whereas in the case of ball mill the process was done as a dry and wet grinding. The different grinding media were used. On the basis of experiments performed one can conclude that using the vibrating mill filled with the balls of equal dimensions it is possible to get in a one milling operation a bimodal product that can be used to prepare a coal-water slurry fuels.

1. Wprowadzenie

Paliwa zawiesinowe węglowo-wodne są wysoko zagęszczoną mieszaniną odpowiednio preparowanego węgla kamiennego, środków dyspergująco - stabilizujących oraz wody. Własności reologiczne tego paliwa zbliżone są do własności ciężkich olejów opałowych, co pozwala traktować je jako zamienniki tych ostatnich [1,2,3]. ZPWW mają konsystencję mieszczącą się w szerokim zakresie od wysoko płynnych cieczy fluidalnych o lepkości zbliżonej do lepkości oleju opałowego, do mieszanin tiksotropowych, które w stanie spoczynku występują w postaci żeli, a stają się cieczami po zadziałaniu na nie sił ścinających [4].

Korzyści ze stosowania zawieszinowego paliwa wodno-węglowego w porównaniu z paliwem stałym to możliwość transportu za pomocą rurociągów, magazynowanie w zbiornikach czy podawanie do spalania za pomocą wtrysku [5]. Poza tym manipulowanie pyłem węglowym, w przypadku palenisk pyłowych, stwarza niebezpieczeństwo jego wybuchu. Zastosowanie zawieszinowych paliw węglowo-wodnych obniża temperaturę spalania paliwa, co prowadzi do obniżenia zawartości NO_x w spalinach [6].

Dodatkową korzyścią ze stosowania paliw zawieszinowych węglowo-wodnych jest możliwość głębokiego oczyszczenia węgla z niepożądanych składników mineralnych przed przygotowaniem paliwa zawieszinowego. Oczyszczenie to wiąże się niejednokrotnie z koniecznością jego zmielenia do wymiarów ziarn umożliwiających uwolnienie substancji mineralnej od masy węglowej. W niektórych przypadkach konieczne jest uzyskanie ziarn o wielkościach kilku czy kilkunastu mikrometrów. Rozdzielenie ziarn o tak małych wymiarach możliwe jest wyłącznie na drodze mokrej. Po wzbogaceniu nie ma więc konieczności odwadniania i suszenia koncentratu, w przypadku gdy przeznaczony on jest do przygotowania paliwa zawieszinowego.

Kolejną korzyścią ze stosowania paliwa zawieszinowo-wodnego jest to, że mielenie węgla używanego do sporządzania zawiesziny przeprowadza się na mokro (mniejsze zużycie energii i brak zagrożenia wybuchem pyłu węglowego) bez konieczności odwadniania i suszenia paliwa (dalsze koszty).

Od zawieszinowych paliw tego typu wymaga się odpowiedniej zawartości substancji węglowej, która nie powinna być mniejsza od 60% z uwagi na to, aby zapewnić odpowiednio wysoką wartość kaloryczną zawiesziny [7]. Poza tym wymagana jest jak najmniejsza lepkość takiej zawiesziny, ponieważ transport jej odbywa się za pomocą pomp i rurociągów. Dalszym niezbędnym kryterium, jakie musi spełniać ZPWW, jest jego stabilność - nie może ulegać sedymentacji.

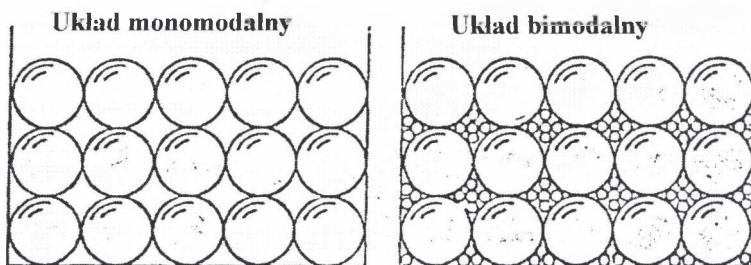
Spełnienie tych wymagań uzależnione jest od:

- typu węgla użytego do przygotowania zawiesziny,
- kształtu ziarn węglowych w zawieszynie,
- składu granulometrycznego użytego węgla,
- zawartości substancji mineralnej w węglu,
- zagęszczenia zawiesziny węglowo-wodnej,
- rodzaju dodatków chemicznych powodujących upłynnienie zawiesziny i jej stabilizację.

Jednym z podstawowych czynników decydujących o możliwości uzyskania dużego zagęszczenia zawiesziny węglowo-wodnej jest skład granulometryczny węgla użytego do jej

przygotowania [8]. Chcąc uzyskać jak największe zagęszczenie, ziarna węgla powinny mieć zróżnicowane wymiary, tak aby najbardziej wypełniały przestrzeń. Najkorzystniejszy jest w tym przypadku układ bimodalny.

Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie wypełnienie przestrzeni kulami o różnych wymiarach.



Rys. 1. Schemat wypełnienia przestrzeni kulami
Fig. 1. Sketch of the space loading by spheres

Wieloletnie i obszerne badania prowadzone są w wielu krajach, między innymi w USA, Rosji, Australii, Chinach, Japonii i we Włoszech. Badania te często owocują wdrożeniami różnych technologii w skali przemysłowej [9,10].

ZPWW znalazły zastosowanie nie tylko w urządzeniach zaprojektowanych do spalania tego typu paliwa, ale także w istniejących instalacjach opalanych olejem napędowym po stosunkowo niewielkiej ich przeróbce [9,10,11]. Wynika to z faktu, że suspensja węglowa jest paliwem o dwukrotnie niższej wartości opałowej niż olej napędowy. Należy zwiększyć wydajność całego układu zasilania, czyli moc pomp wtryskowych, rozrządu w układzie paliwowym, średnice przewodów paliwowych, trzeba wymienić wtryskiwacze i komory wstępnego spalania. Z uwagi na obecność ziarn używanie suspensji węglowej powoduje znacznie większe ścieranie się układu paliwowego, niż to ma miejsce w przypadku oleju.

ZPWW można też stosować w turbinach gazowych [12], silnikach Diesla [13,14,15] i piecach fluidalnych [16]. Do napędu turbin gazowych stosuje się drobno uziarnione paliwa węglowo-wodne o minimalnej zawartości popiołu i mniejszym zagęszczeniu (50-55% węgla). W piecach fluidalnych w zamian za nieznaczny (0,8%) spadek mocy energetycznej uzyskano większą kontrolę przebiegu procesu, łatwiejszą regulację, poprawę równomierności zasilania strefy reakcji i lepsze własności powstałego żużla i popiołu [17].

ZPWW pełnią również rolę surowca do zgazowania węgla, gdzie sprawność energetyczna urządzeń wynosi 80%, a woda pełni funkcję reagenta [17,18].

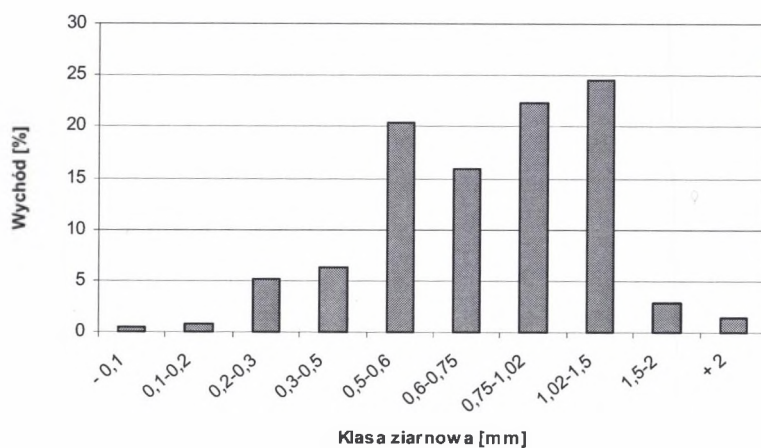
Celem niniejszej pracy było określenie sposobu mielenia węgla, w wyniku którego w jednym cyklu mielenia uzyskano by bimodalny produkt, który spełniałby wymagania stawiane składnikowi zawieszinowego paliwa węglowo-wodnego.

2. Badania własne

2.1. Materiał użyty do badań

Do badań użyto węgla z kopalni „Wesoła” typu 32.1, o granulacji 0,2 mm do 2,5 mm, który został wzbogacony w hydrocyklonach i wysuszony. Zawartość części lotnych wynosiła 30,2%, a popiołu 8,83%.

Skład granulometryczny tego materiału przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Skład ziarnowy nadawcy do procesu mielenia

Fig. 2. Particle size distribution of the feed used for comminution

Materiał ten poddany został mieleniu w młynach wibracyjnym obrotowym i kulowym.

2.2. Mielenie w młynie wibracyjnym obrotowym

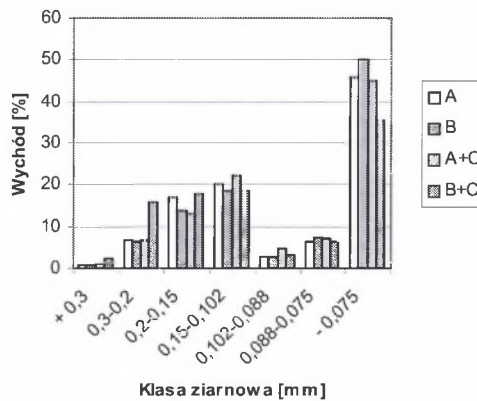
Zastosowano młyn LMW-J-2x2 produkcji AGH o pojemności komory roboczej 2 dm³. Jako mielników użyto kul stalowych, których charakterystykę podano w tablicy 1.

Tablica 1

Charakterystyka kul wykorzystanych w procesie mielenia w młynie wibracyjnym

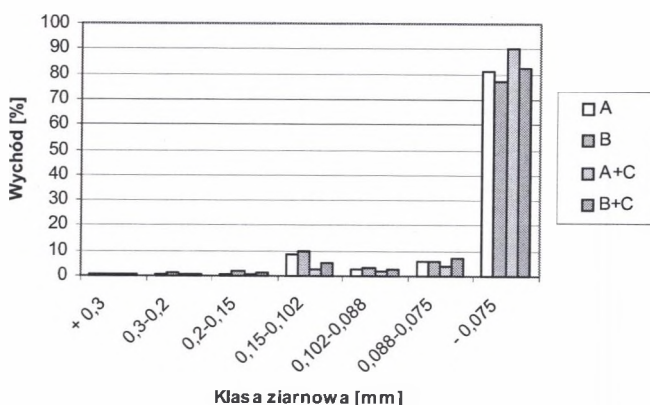
Symbol kuli	A	B	C
Średnia masa [g]	13,98	24,62	4,09
Średnica [mm]	15	18	10

Mielenie przeprowadzono na sucho, stosując następujące warunki mielenia: częstotliwość drgań młyna – 14 Hz, prędkość obrotowa 150 obr/min, amplituda 8 mm, stopień wypełnienia komory – 0,3. Parametrem zmiennym był czas wynoszący: 5, 10 i 15 minut. Podstawowymi mielnikami były kule o symbolu A i B. Użyto również mieszaniny kul dużych (A i B) z małymi (C) w stosunku wagowym 1:1. Wyniki eksperymentu przedstawiono na rysunkach 3 ÷ 5.



Rys. 3. Skład ziarnowy materiału po 5 minutach mielenia. A, B i C – rodzaje kul

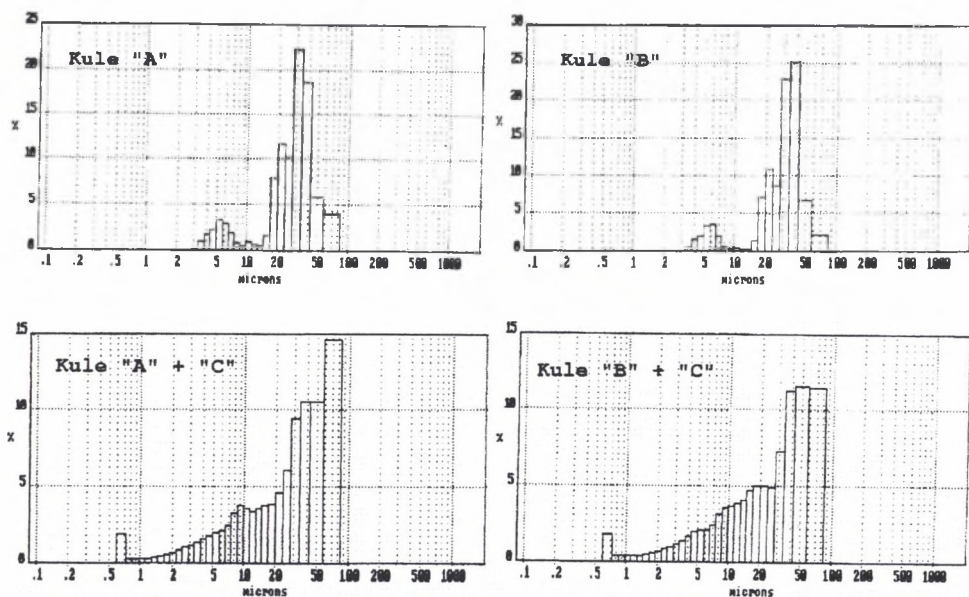
Fig. 3. Particle size distribution of the material after 5 minutes of milling. A, B and C – kinds of balls



Rys. 4. Skład ziarnowy materiału po 15 minutach mielenia. A, B i C – rodzaje kul

Fig. 4. Particle size distribution of the material after 15 minutes of milling. A, B and C – kinds of balls

Z produktów mielenia wydzielono klasę ziarnową poniżej 0,075 mm i poddano ją analizie granulometrycznej przy użyciu laserowego granulometru Analysette 22 (Fritsch). Wyniki analizy wybranych próbek przedstawiono na rysunku 4.



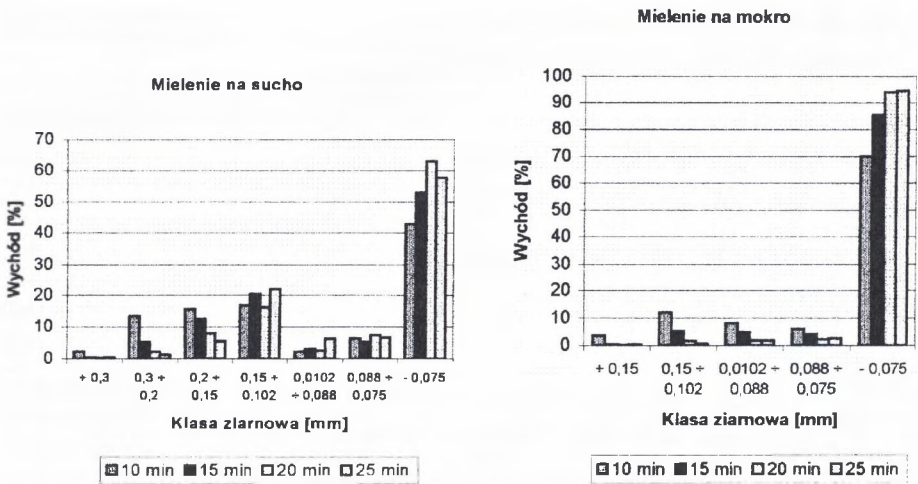
Rys. 5. Rozkład wielkości ziarn mielniwa z młyna wibracyjnego przy użyciu różnych kul. Czas mielenia 15 minut

Fig. 5. Frequency size distribution of vibratory mill products. Time of milling 15 minutes. A, B, C – kinds of balls

2.3. Mielenie w młynie kulowym

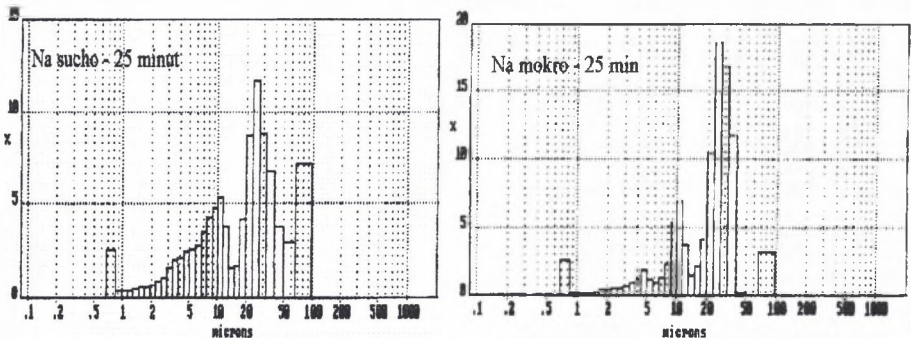
Mielenie przeprowadzono w laboratoryjnym młynie kulowym o pojemności komory roboczej 1 dm³. Użyto 15 kul stalowych o średniej masie 165 g. Mielenie przeprowadzono na sucho i na mokro przy stopniu wypełnienia komory 30%. Mielenie na mokro prowadzono stosując proporcję węgla do wody jak 2:3. Czasy mielenia były 10, 15, 20 i 25 minut.

Rezultaty mielenia przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Skład ziarnowy produktów mielenia w młynie kulowym
Fig. 6. Particle size distribution of dry and wet grinded product

Z produktów mielenia wydzielono klasy ziarnowe o wymiarach poniżej 0,075 mm i oznaczono dla nich skład ziarnowy za pomocą granulometru laserowego. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Rozkład wielkości ziarn mielniwa z młyna kulowego. Czas mielenia 25 minut
Fig. 7. Frequency size distribution of dry grinded material from a ball mill. Time of milling 25 minutes

3. Omówienie wyników

Jednym z wymagań, jakie stawia się paliwom zawieszinowym węglowo-wodnym jest odpowiednio wysoka zawartość części palnych w zawieszinie. Uzyskanie dużego zagęszczenia zawiesiny możliwe jest wyłącznie w przypadku takiego składu ziarnowego węgla, który umożliwi duże wypełnienie przestrzeni. Najbardziej odpowiedni jest w tym przypadku układ bimodalny, w którym stosunek objętości ziarn dużych do objętości ziarn małych wynosi jak 5:1. Skład taki można uzyskać mieszając ze sobą we właściwych proporcjach odpowiednie klasy ziarnowe węgla. Wymaga to jednak klasyfikacji produktu mielenia i połączenia odpowiednich klas ziarnowych.

W niniejszej pracy próbowano w wyniku przeprowadzonego mielenia węgla przy użyciu młynów wibracyjnego i kulowego uzyskać w jednym procesie mielenia zbliżony do wymaganego skład ziarnowy.

W tym celu przeprowadzono mielenie w młynach wibracyjnym i kulowym, stosując różne czasy mielenia i różne rodzaje kul.

Z przedstawionych na rysunkach 3 do 5 składów ziarnowych produktów mielenia węgla w młynie wibracyjnym wynika, że po 15 minutach mielenia prawie cały materiał uległ zmieleniu do wymiarów ziarn poniżej 0,075 mm. Po wydzieleniu tej klasy ziarnowej zbadano jej skład granulometryczny, a wyniki przedstawiono na rysunku 5. Z przedstawionych rozkładów ziarnowych wynika, że zastosowanie zarówno kul mniejszych „A”, jak i większych „B” daje po 15 minutach mielenia produkt posiadający cechy produktu bimodalnego. Na wykresach widoczne są wyraźnie zarysowane dwa maksima. Jedno odpowiada klasie ziarnowej 5,5 μm , a drugie 25 μm . Iloraz tych wielkości wynosi 4,54, a więc jest zbliżony do 5 uważanego za optymalny. Dodanie kul drobnych (C) w obydwu przypadkach daje produkty nie wykazujące cech bimodalności.

Przy zastosowaniu młyna kulowego mielenie trwa dłużej. Dopiero po 20 minutach mielenia na mokro większość materiału uzyskuje wymiary ziarn poniżej 0,075 mm (rys. 6). Mielenie na sucho jest, jak wiadomo, mniej efektywne, co potwierdzają wykresy na rysunku 6. Próbowano jednak zbadać, jaki rozkład ziarnowy mają klasy poniżej 0,075 mm produktu otrzymanego na sucho i na mokro. Oba te produkty nie wykazują jednak wyraźnych cech bimodalności.

4. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wyciągnąć można następujące wnioski:

1. Istnieje realna możliwość uzyskania w wyniku jednokrotnego mielenia węgla produktu posiadającego cechy bimodalności, który mógłby być użyty do sporządzania zawiesinowych paliw węglowo-wodnych.
2. Można to osiągnąć stosując młyn wibracyjny wypełniony kulami o jednakowych wymiarach.
3. Zastosowanie młyna kulowego nie daje zadowalających wyników.
4. Należałoby przebadać inne parametry młyna wibracyjnego, jak również zastosować do mielenia dodatki detergentów mających równocześnie własności upłynniające i stabilizujące zawiesinę.

LITERATURA

1. Ślęczka A., Piszczczyński Z.: The Rheology and Stability of Concentrated Coal Water Slurries. 12-th Annual International Pittsburg Coal Conference (USA), Proc. 1995, 691-694.
2. Ślęczka A., Piszczczyński Z.: The Rheology of Concentrated Coal Water Slurries. Al-Azhar Engineering Fourth International Conference, - Mining Engineering (Egipt), 6; 1995, 174-179.
3. Ślęczka A., Piszczczyński Z., Kasprzak E., Karuga S.: Zawiesinowe paliwa węglowo-wodne na bazie węgla koksujących i energetycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 231, 1996, 499-513.
4. Hitomoto Usui: Thixotropy model for coal-water mixtures. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics; 60; 1995, 259-275.
5. Shook C.A., Gillies R.G., Husband W.H.W.: Coal slurry pipeline flow. A review of transport options. CIM Bulletin 83, 1990, 84-89.
6. Battista J., Hughes E.: Low solids water slurry cofiring for NO_x trim. Proc. of the Int. Joint Power Generation Conference, Jun 24-26 2002.
7. Miller Bruce G.: Coal-Water Slurry Fuel Utilization in Utility and Industrial Boilers. Chemical Engineering Progress; (3), 1989, 29-38.
8. Boylu F., Dincer H, Atesok G.: Effect of coal particle distribution, volume fraction and rank on the rheology of coal-water slurries. Fuel Processing Technology; 85, 2004, 241-250.
9. Ling Wang at al.: Heat transfer and emission characteristics tests of a 220 t/h oil-fired utility boiler retrofitted for firing coal-water slurry. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power. 17, 2002, 589-591.
10. Puzyrev E.M. at al.: Results of pilot plant of a DKVR 6,6/13 oil fired boiler operating on coal-water slurry. Thermal Engineering 48, 2001, 157-159.

11. Xiao-Bo You at al.: The retrofitting on No2 oil-fired boiler at Wangfeung Powe plant for burning water-coal slurry. *Journal of Engineering for Thermal Energy and Power*. 17, 2002, 414-417.
12. Wilkes C., Santanam C.B.: Coal-water slurry combustor for a 5MW industrial gas turbine. *International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition*, Indianapolis, USA, June 3-6 1991.
13. Dodge L.G. at al.: Injection characteristics of coal-water slurries in medium-speed diesel equipment. *J. of Engineering for Gas Turbines and Power*, Transactions of the ASME 114, 1992, 522-527.
14. Zimny J.: Suspensja węglowo-wodna jako paliwo alternatywne do zasilania wysoko-
prężnych silników spalinowych, *Wiadomości Górnicze*, 7-8/2001, 308-314.
15. Uzman T., Horton C.E.: Combustion of coal-water slurry in a two-cycle diesel engine. Effect of fuel amount and timing. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. Transactions of the ASME; 112, 1990, 376-383.
16. Tsui H., Yavuzkurt S., Scaroni A.: Thermodynamic analysis of the gasification of coal water slurry fuels for a circulating fluidized bed gasifier. *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* 216, 2002, 343-353.
17. Tsui H., Yavuzkurt S.: Hydrodynamic analysis of a circulating fluidized bed coal water slurry gasifier. *Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers*. Nov. 1990, 25-30.
18. Guang-Suo Yu at al.: Application status and development tendency of coal entrained-bed gasification. *Modern Chemical Industry (China)*; 24, 2004, 645-658.

Recenzent: Dr hab. inż. Stanisława Sanak-Rydlewska, prof. nzw. w AGH

Abstract

Recently, new techniques for preparation of coal-water slurry fuels (CWSF) have been developed. One of them is preparing a charge for loading the coal slurry. The higher coal content in a slurry the better is a fuel. To get this goal a bimodal composition of coal charge is needed. Usually two mills are used to achieve a bimodal particle size distribution. The coarse fraction from primary milling is reground in the second mill and the products after screening are mixed together to obtain a proper bimodal material. The aim of this work was to achieve a bimodal size distribution in one milling operation. Thus the vibratory and ball mills were used for coal grinding. Using the vibratory mill the process was done as a dry grinding, whereas in the case of ball mill the process was done as a dry and wet grinding. The different grinding media were used. On the basis of experiments performed one can conclude that using the vibratory mill filled with the balls of equal dimensions it is possible to get in a one milling operation a bimodal product that can be used for preparing of CWSF.