

DARIUSZ URBANIAK*
TOMASZ WYLECIAŁ

Politechnika Częstochowska
Instytut Maszyn Ciepłych

Wpływ ciśnienia powietrza roboczego na efektywność mechanicznej aktywacji procesu odsiarczania spalin

Przedstawiono możliwości wykorzystania rozdrabniania strumieniowego jako mechanicznej aktywacji sorbentu wapniowego. Połączenie procesów rozdrabniania i odsiarczania spalin daje pozytywne wyniki, przy czym efekt odsiarczania jest lepszy w odniesieniu do procesu rozdrabniania rozłącznego w czasie od procesu odsiarczania spalin. Efektywność procesu rozdrabniania zależy od wielu parametrów: wielkości związanych z rozdrabnianym materiałem, urządzeniem rozdrabniającym, sposobem doprowadzenia energii itp. W pracy przedstawiono wyniki charakteryzujące wpływ ciśnienia powietrza roboczego na końcowy efekt odsiarczania spalin bezpośrednio w komorze mielenia.

1 Wprowadzenie

Spalanie paliw jest źródłem zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego. Jednym z istotniejszych składników zanieczyszczających spaliny są tlenki siarki, występujące w postaci SO_2 i SO_3 , które są gazami bardzo niebezpiecznymi. Obecność tlenków siarki i siarczanów w powietrzu ma ujemny wpływ na życie roślinne i zwierzęce [4]. W niskich temperaturach tlenki siarki uwadniają się i kondensują jako kwas siarkowy, który oddziałuje żrąco na błony śluzowe i powoduje zapalne podrażnienie płuc. Osadzanie się kwasu siarkowego na powierzchniach metalu stwarza poważne zagrożenie korozją. Tlenki siarki razem z tlenkami azotu powodują powstawanie kwaśnych deszczów. Zakwaszają one wody gruntowe i zbiorniki wodne oraz gleby. Zwiększenie kwasowości zbiorników wodnych prowadzi stopniowo do zubożenia życia biologicznego aż do jego całkowitego zniszczenia. Zakwa-

*E-mail: urbaniak@imc.pcz.czyst.pl

szenie wód gruntowych powoduje wypłukiwanie potasu z gleby, co zmniejsza jej żyzność, oraz umożliwia rozpuszczenie w wodzie trujących metali ciężkich. Jednym ze sposobów wyeliminowania powyższych uciążliwości procesu spalania jest wychwytywanie tlenków siarki ze spalin przed ich wydalaniem do atmosfery. Do tego celu wykorzystywany jest m.in. sorbent wapienny – węglan wapnia CaCO_3 . Wykorzystanie sorbentu wapiennego zależy znacząco od wielkości jego powierzchni właściwej. Sorbent nie jest materiałem jednorodnym, zawiera różnego rodzaju zanieczyszczenia. Ponadto w sorbentach występuje szereg różnego rodzaju defektów budowy. Wszystkie wyżej wymienione cechy pozwalają osiągnąć duże zmiany powierzchni właściwej sorbentu przy użyciu stosunkowo niedużych sił w porównaniu z siłami, które byłyby konieczne w celu wywołania analogicznych zmian w idealnym kryształach. Nadto ilość defektów może ulec zmianie. Zmiany koncentracji defektów w strukturze kamienia wapiennego aktywowanego mechanicznie mogą wzrosnąć od 15 do 60% w porównaniu z koncentracją defektów w kamieniu niepoddanym aktywacji [3,8].

2 Aktywacja mechaniczna

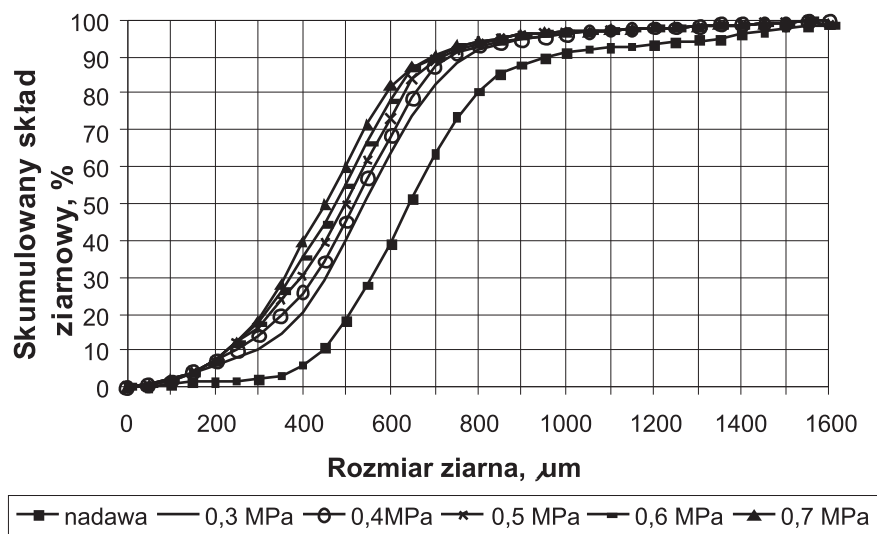
W ostatnich latach można zauważyć wzrost zainteresowań pracami poświęconymi mechanicznej aktywacji procesów energetycznych. Prowadzone są badania, których ideą jest wykorzystanie energii aktywacji mechanicznej, zachodzącej w procesie rozdrabniania substancji kruchych [1,2,5,7]. Wykazano, że połączenie procesów rozdrabniania i spalania węgla umożliwia wykorzystanie energii aktywacji, co prowadzi do poprawy jakości spalania [5]. Proces spalania przebiega z mniejszymi stratami niezupełnego i niecałkowitego spalania. Wykazano ponadto, że istnieje możliwość zmniejszania strat spalania poprzez zwiększenie intensywności rozdrabniania. Badano również rolę mechanicznej aktywacji sorbentu w procesie odsiarczania spalin. Autorzy pracy wykazali, że połączenie procesów rozdrabniania i odsiarczania spalin prowadzi do poprawy stopnia wychwytywania tlenków siarki [9]. Przeprowadzono eksperyment polegający na wprowadzeniu uprzednio rozdrobnionego sorbentu do kanału spalinowego. Uzyskane wyniki odsiarczania porównano z rezultatami procesu odsiarczania w przypadku mechanicznego aktywowania sorbentu poprzez jego strumieniowe rozdrabnianie bezpośrednio w kanale spalinowym. Wykazano, że w przypadku połączonych procesów efekt odsiarczania jest lepszy. Stwierdzono wzrost skuteczności wiązania tlenków siarki.

2.1 Proces rozdrabniania strumieniowego

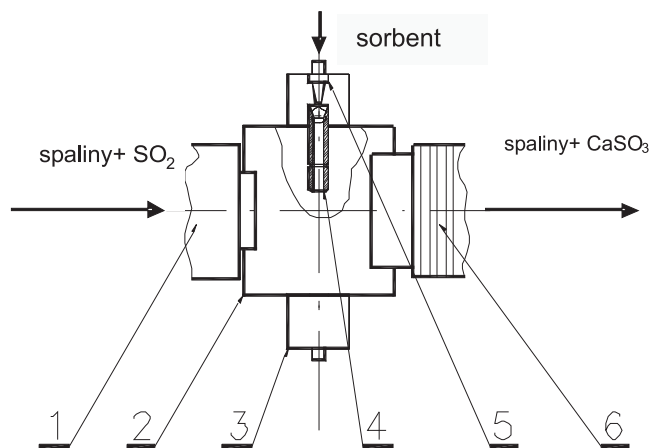
Mechaniczna aktywacja procesu absorpcji tlenków siarki możliwa jest poprzez połączenie procesów strumieniowego rozdrabniania sorbentu wapiennego i jego reakcji z tlenkami. Proces absorpcji tlenków siarki jest procesem chemicznym jego efektywność zależy m.in. od powierzchni właściwej sorbentu. Im drobniejszy jest sorbent, tym większa jego powierzchnia, a więc również efektywność procesu. W przypadku rozdrabniania strumieniowego efekt degradacji rozmiaru ziarna możliwy jest dzięki wzajemnym zderzeniom rozpędzonych ziaren materiału [5]. Energią rozdrabniania jest energia sprężonego powietrza, która umożliwia nadanie odpowiedniej prędkości ziarnom rozdrabnianej substancji. Wartość energii powietrza zależy od jego ciśnienia. Im wyższe ciśnienie powietrza roboczego, tym proces rozdrabniania jest efektywniejszy.

W ogólnym przypadku efekt procesu rozdrabniania zależy m.in. od rodzaju rozdrabnianego materiału, rodzaju urządzenia rozdrabniającego i sposobu doprowadzenia energii. W przypadku rozdrabniania strumieniowego na efekt procesu znacząco wpływają, oprócz wartości ciśnienia powietrza roboczego, przede wszystkim ziarnistość rozdrabnianego materiału i jego masa. Wielkości te determinują bowiem wartość energii kinetycznej rozdrabnianych ziaren. Z kolei na wartość masy zasysanej nadawy wpływają warunki zasysania [6]. We wcześniejszych pracach autorów wykazano, że wzrost wartości ciśnienia powietrza roboczego powoduje wzrost stopnia degradacji rozmiaru ziaren produktu rozdrabniania [12]. Ta prawidłowość charakteryzuje zarówno proces rozdrabniania strumieniowego przeprowadzonego w młynie strumieniowym z dyszami usytuowanymi naprzeciw sobie, jak i w przypadku młyna strumieniowo-fluidalnego.

Na rys. 1 przedstawiono wpływ ciśnienia powietrza roboczego na efekt procesu rozdrabniania kamienia wapiennego w młynie strumieniowo-fluidalnym [12]. Wzrost ciśnienia powietrza powoduje wzrost energii dostarczonej do młyna, co z kolei powoduje większe obciążenie rozdrabnianego materiału i jego większą fragmentację.



Rysunek 1. Skład ziarnowy produktu rozdrabniania kamienia wapiennego [12]



Rysunek 2. Schemat młyna strumieniowego: 1 – komora spalania, 2 – komora rozdrabniania, 3 – komora podchwytyjaca, 4 – rura rozpędowa, 5 – dysza, 6 – kanał spalinowy

3 Stanowisko badawcze

Badania wpływu ciśnienia powietrza roboczego na efekt odsiarczania spalin wykonano na stanowisku badawczym [9–11], którego zasadniczą część stanowi komora spalania, do której po nagraniu wprowadzano z butli tlenek siarki. Równie ważną część stanowiska stanowi komora mielenia, schematycznie przedstawiona na rys. 2. Komora mielenia (2) zasilana była spalinami (1) (przepływającymi z komory spalania). Do dysz Bendemanna (5) doprowadzano sprężone powietrze, które w przekroju wylotowym osiągało prędkość dźwięku, dzięki czemu możliwe było wytworzenie podciśnienia w komorze podchwytyjącej (3). To z kolei powodowało zasysanie ziaren sorbentu. W rurach rozpędowych (4) następowało przyspieszanie ziaren, które na skutek wzajemnych zderzeń ulegały rozdrobnieniu. Rozdrobnione ziarna sorbentu absorbowwały tlenki siarki. Odsiarczone spaliny przepływały następnie do kanału wylotowego (6). Strumień masy materiału sorbentu określano przez zważenie masy materiału oraz zmierzenie czasu zasysania.

3.1 Metodyka badań

Aby przedstawić wpływ wartości powietrza roboczego na efekt procesu odsiarczania, przeprowadzono próby mechanicznej aktywacji procesu absorpcji tlenków tlenki. Badaniom poddano sorbent wapienny o ziarnistości 0,4–0,8 mm. W trakcie badań utrzymywano stały wydatek strumienia nadawy; zmieniano ciśnienie powietrza roboczego. Wykonano próby eksperymentalne dla nadciśnienia powietrza roboczego o następujących wartościach: 0,2; 0,3; 0,4 i 0,5 MPa. Najniższa wartość ciśnienia ograniczona była minimalną energią, niezbędną do uzyskania efektu procesu rozdrabniania, natomiast górna wartość ciśnienia warunkowana była możliwościami technicznymi. W trakcie badań każdorazowo mierzono stężenie SO_2 przed komorą mielenia i w części wylotowej stanowiska. Skład przepływających gazów mierzono za pomocą automatycznego analizatora spalin Testo 350 [13].

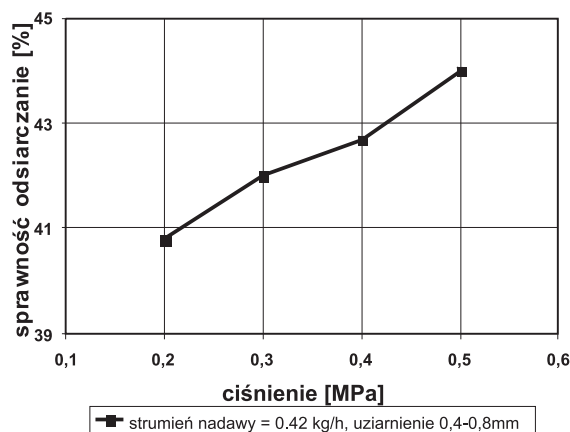
Sprawność procesu odsiarczania obliczono ze wzoru:

$$\eta_{\text{SO}_2} = \frac{[\text{SO}_2]_p - [\text{SO}_2]_k}{[\text{SO}_2]_p}, \quad (1)$$

gdzie $[\text{SO}_2]_p$ oznacza zawarość SO_2 przed komorą mielenia a $[\text{SO}_2]_k$ zawartość SO_2 w części wylotowej.

4 Wyniki i analiza badań

Wpływ ciśnienia powietrza roboczego na efekt odsiarczania spalin przedstawiono na rys. 3.



Rysunek 3. Wpływ strumienia nadawy o uziarnieniu 0,4–0,8 mm na sprawność procesu odsiarczania

Na wykresie widać, że wzrost ciśnienia powietrza roboczego w procesie rozdrabniania powoduje wzrost efektywności procesu odsiarczania spalin. Powodowane to jest wzrostem powierzchni właściwej rozdrabnianego sorbentu wapniowego. Należy jednak pamiętać, że ten parametr determinuje wzrost kosztów sprężania powietrza atmosferycznego. Konieczna jest zatem optymalizacja procesu powiększania ciśnienia roboczego w kontekście kosztów sprężania powietrza.

5 Podsumowanie i wnioski

Efekt procesu rozdrabniania strumieniowego zależy od takich parametrów, jak: ciśnienie powietrza roboczego, uziarnienie i masa nadawy poddanej rozdrabnianiu. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu różnego pod względem efektywności procesu rozdrabniania strumieniowego na efekt odsiarczania spalin. Zmianę efektu rozdrabniania realizowano za pomocą zmiany ciśnienia powietrza roboczego. Wykazano, że wzrost ciśnienia powietrza wpływa na wzrost efektu odsiarczania. Połączenie procesów rozdrabniania i absorpcji tlenków siarki umożliwia

wykorzystanie energii aktywacji molekuł sorbentu, będącej skutkiem wprowadzenia w chwili rozdrabniania molekuł sorbentu w stan wzbudzenia mechanicznego. Rozdzielenie procesów rozdrabniania i absorpcji przyczynia się do powrotu wzbudzonych molekuł sorbentu do stanu równowagowego z otoczeniem i dysypację energii aktywacji do otoczenia [9].

Praca wpłynęła do redakcji we wrześniu 2012 r.

Literatura

- [1] Antsiferova I.V., Kulmeteva V.B., Biryukov Yu.A.: *Surfactant effects in the mechanical activation of ultrafine alumina powders made by pneumocirculation grinding*. Refract. Ind. Ceram. **50**(2009), 3, 227.
- [2] Hai-Bo J., Jiang-Tao Li, Mao-Sheng Cao, Agathopoulos S.: *Influence of mechanical activation on combustion synthesis of fine silicon carbide (SiC) powder*. Powder Technol., **196**(2009), , 229.
- [3] Heegn H.: *Über den Zusammenhang von Feinstzerkleinerung und mechanischer Aktivierung, Aufbe-reitungs*. Technik **30**(1989), 10.
- [4] Jarosiński J.: *Techniki Czystego Spalania*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1996.
- [5] Patrzyk P.: *Wpływ energii kinetycznej ziaren węgla kamiennego przed zderzeniem na proces spalania*. Praca doktorska, Politechnika Wroclawska, Wrocław 1982.
- [6] Skotnicka E., Witczak St.: *Ocena wpływu kształtu dyszy ssącej na energochłonność podciśnieniowego transportu pneumatycznego*. Arch. Energ. **XLII**(2012), 2, 145–154.
- [7] Szymanek A., Nowak W.: *Mechanically activated limestone*. Chem. Process Eng. **28**(2007), 127.
- [8] Tkacova K.: *Mechanical Activation of Minerals*. Elsevier 1989.
- [9] Urbaniak D., Wyleciał T.: *Mechanical activation in energy processes*. Chem. Process Eng. **31**(2010), 4, 647–65.
- [10] Wyleciał T., Maroszek A.: *Wpływ uziarnienia i strumienia rozdrabnianego sorbentu na sprawność suchego odsiarczania spalin*. Mat. VI Międzynarodowej Konferencji Naukowej – Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej. Ser. Metalurgia **48**, 108, Częstochowa 2005.
- [11] Wyleciał T., Maroszek A.: *The use of a jet mill in the combustion-gas sulfur removal proces*. Acta Metall. Slovaca, **1**(2005), 11, 389.
- [12] Wyleciał T., Urbaniak D.: *Wpływ wybranych parametrów procesu na efekt rozdrabniania materiałów drobnoziarnistych w młynie strumieniowo-fluidalnym*. Hutnik-Wiadomości Hutnicze **80**(2013), 5, 388–391.
- [13] Zajemska M., Musiał D., Poskart A.: *Effective methods of reduction of nitrogen oxides concentration during the natural gas combustion*. Environ. Technol. **35**(2014), 5, 602–610.

Influence of working air pressure on the efficiency of mechanical activation of the exhaust gas desulfurization process**S u m m a r y**

In the paper the possibility of using the streaming method of grinding as mechanical activation of calcium sorbent is presented. The combination of processes of grinding and fumes desulfurization gives positive results. The desulfurization effect is better in this case in relation to the grinding process completed separately from the fumes desulphurization. The effectiveness of the grinding process depends on the number of parameters such as: quantities associated with grinded material, the grinding unit, a way of grinding energy supply, etc. In the paper the results characterizing the influence of air pressure on the final effect of fumes desulphurization process directly into the grinding chamber are presented.