ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: ENERGETYKA z. 113 Nr kol. 1101

Jaroslav DOBROZEMSKY
Pavel NOSKIEVIČ

Katedra Energetyki
VŠB Ostrawa

SPALANIE PALIW A POWSTAWANIE SUBSTANCJI SZKODLIWYCH

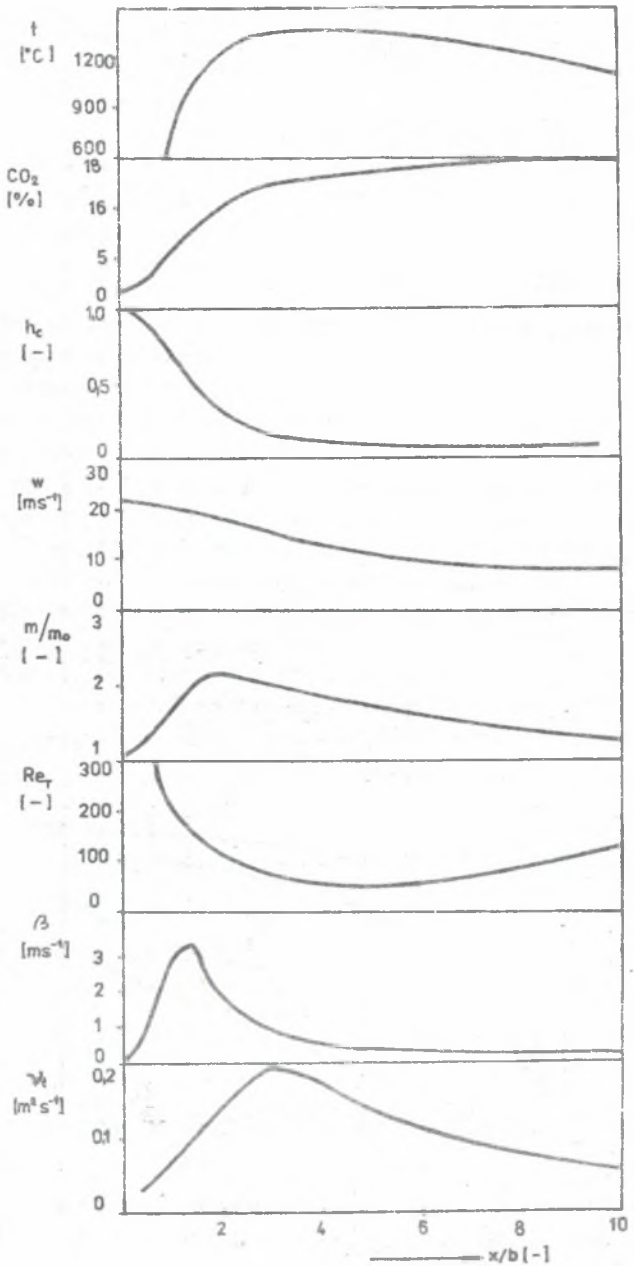
Streszczenie: Istniejące obecnie informacje na temat przebiegu procesu spalania w paleniskach kotłów umożliwiają sterowanie procesem w kierunku uzyskania mniejszych emisji zanieczyszczeń gazowych. Możliwe jest uzyskanie jednocześnie lepszego wypalenia paliwa, a tym samym wyższej sprawności spalania. Konieczne jest jednak dysponowanie możliwościami dokładnego mierzenia determinujących przebieg procesu parametrów zarówno na końcu kotła, jak i w palenisku.

1. WSTĘP

Zjawiska występujące przy spalaniu paliw prowadzą do utlenienia substancji palnych z jednoczesnym wyzwoleniem ciepła. Z punktu widzenia składu pierwiastkowego największe znaczenie mają węgiel, wodór, siarka, a ostatnio, ze względu na ochronę środowiska, również azot. W bilansach energetycznych największe znaczenie ma spalanie pierwiastka węgla, co powoduje, że proces ten jest najlepiej zbadany i opisany. Najwięcej wyników badań uzyskano w warunkach laboratoryjnych bądź w paleniskach eksperymentalnych. Istnieją jednak próby prowadzenia badań w warunkach rzeczywistych, gdzie istnieje możliwość uwzględnienia wszystkich parametrów mających wpływ na realny proces spalania. Znaczna ilość wielkości oddziałujących na proces spalania powoduje, że badania w warunkach rzeczywistych są niezwykle pracochłonne i skomplikowane. Bardzo uciążliwe kompleksowe pomiary pozwalają jednak dokładniej poznać proces spalania w komorze paleniskowej kotła. Metoda pomiarów polega na śledzeniu pól temperatur, koncentracji, prędkości oraz ciśnień w palenisku, tak aby można było określić przebieg zmienności poszczególnych wielkości na tzw. drodze spalania, wyznaczając tym samym trajektorię płomienia w palenisku. Do pomiaru potrzeba chłodzonych sond wybierając właściwą metodykę pobierania stałych i gazowych próbek z paleniska oraz pomiaru lokalnych temperatur i ciśnień koniecznych do określenia pól wielkości turbulentnych. Warunki i możliwości pomiarów są zdeterminowane istnieniem odpowiednich otworów w ściankach paleniska. Konieczna jest szczegółowa obserwacja wszystkich wielkości wejściowych z uwzględnieniem nie tylko paleniska, ale również kotła

jako całości.W ten sposób zostały zbadane przebiegi podstawowych wielkości wzdłuż drogi spalania w kotle bloku 200 MW przedstawione na rys.1.Wielkości te są dokładnie badane w tzw.przestrzeni przypalnikowej,tzn. od wylotu palnika do miejsca,w którym temperatura osiąga maksimum. Odcinek ten decyduje o jakości procesu spalania.W dalszym obszarze paliwo ulega już jedynie dopaleniu, niemożliwe są tu już żadne zasadnicze działania wpływające na przebieg procesu.

Przebiegi wybranych wielkości dla dobrze wyregulowanego paleniska pokazano na rys.1.Temperatura w palenisku jest wynikiem tego procesu.Podstawowym wymaganiem jest szybki zapłon paliwa i osiągnięcie maksymalnej temperatury,na co można oddziaływać temperaturami czynników,koncentracją pyłu,rozwiązaniem konstrukcyjnym palnika i paleniska oraz jakością paliwa. Po osiągnięciu maksimum temperatura spada w wyniku odprowadzenia ciepła do powierzchni ogrzewanych. W miarę postępu procesu spalania rośnie w funkcji szybkości reakcji koncentracja CO_2 w spalinach, a odpowiednio spada koncentracja tlenu. Przy wzroście szybkości reakcji stromo opada zawartość części palnych w paliwie h_c aż do punktu przegięcia krzywej. Punkt ten przedstawia moment, w którym następuje zużycie tlenu z mieszanki pierwotnej i w którym następuje przejście z obszaru spalania kinetycznego do dyfuzyjnego.Osiowa składowa prędkości wypływu z palnika ciągle spada, a szybkość jej spadku określana jest przez konstrukcję palnika i paleniska oraz przez przebieg procesu spalania. Ilość gorących spalin recyrkulowanych do strugi wyrażona stosunkiem ilości rzeczywiście przepływających poprzez poszczególne przekroje spalin m do ilości m_o wypływającej z palnika wyraża całkowity przepływ masowy strumienia. Jego wyznaczenie w obszarze przypalnikowym jest trudne, w większych odległościach od wylotu palnika można go tylko oceniać. Maksymalna wartość nie może być zbyt duża,aby pozytywny efekt wynikający z przyssania gorących spalin pomagających zapłonowi i stabilizujący spalanie nie był kompensowany obniżoną koncentracją tlenu. Z badań wynika, że odpowiednia wartość stosunku wynosi $m/m_o=2 - 2,5$. Wartość turbulentnej liczby Reynoldsa Re_T oraz współczynnika pozornej lepkości turbulentnej ma wpływ głównie na wzrost lepkości spalin w miarę wzrostu temperatury. Na ich podstawie można ocenić jakość procesu spalania. Można to również uczynić prościej, na podstawie częstotliwości zmierzonych pulsacji ciśnienia. Współczynnik wymiany masy charakteryzuje intensywność transportu tlenu do powierzchni reakcji cząstek, a jego maksimum przy dobrej organizacji spalania pokrywa się z punktem przegięcia krzywej wypalenia części palnych. W ten sposób określone są podstawowe wielkości opisujące przebieg procesu spalania. W wyniku ich analizy uzyskano niektóre zależności ogólne, opracowywane zwykle w postaci równań kryterialnych. W przypadku spalania węgla pierwiastkowego produktem jest CO_2, którego powstawanie i koncentracja opisane są odpowiednią krzywą na rys.1. Doskonalsze wypalenie prowadzi do zwiększonego powstawania CO_2.

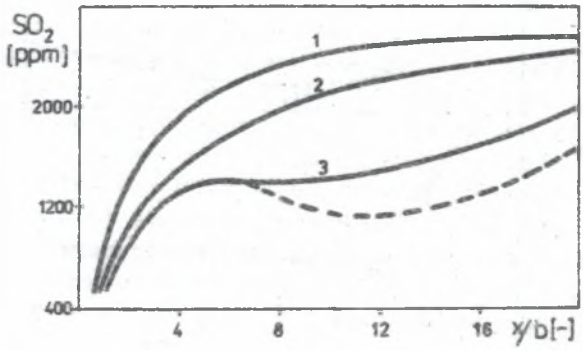


Rys. 1. Przebieg wybranych wielkości wzdłuż drogi spalania w palenisku kotła bloku 200 MW

Fig. 1. Combustion parameters in the furnace of the 200 MW boiler

2. SPALANIE SIARKI

Spalanie węgla pierwiastkowego jest heterogeniczną reakcją przebiegającą na powierzchni fazy stałej, a jej produktem jest CO_2. Ocena możliwości obniżenia powstawania SO_2 przy spalaniu paliw zawierających siarkę musi brać pod uwagę fakt, że obniżenie szybkości reakcji dotyczyło będzie nie tylko utleniania siarki, lecz również utleniania węgla, a tym samym doprowadzi do obniżenia sprawności spalania. Ponadto temperatura zapłonu siarki jest niższa, a prędkość spalania większa aniżeli węgla, w związku z czym większemu pogorszeniu uległoby spalanie węgla. Prowadząc proces spalania przy niskim nadmiarze powietrza, można jednak oddziaływać na wiązanie powstałego SO_2 z częścią popiołu zawierającą CaO. Znane są doświadczenia dotyczące odsiarczania spalin w palenisku za pomocą suchych addytywów, najczęściej wapienia. Uzyskane wyniki prowadzą do wniosku, że metoda nie pozwala na osiągnięcie nawet 30% skuteczności. Decydujący wpływ ma tu jakość wapienia i drobność przemiału, stosunek stechiometryczny CaO/SO_2 oraz czas pobytu wapienia w zakresie optymalnych temperatur kalcynacji. Wyraźny wpływ ma też turbulencja spalin. Czas pobytu w temperaturach optymalnych ma bardzo duże znaczenie, nastąpić musi bowiem podgrzanie cząstek, ich kalcynacja i reakcja z SO_2. Właśnie makroturbulencje spalin mogą czas pobytu wyraźnie przedłużyć. Prawidłowo umieszczone i rozwiązane pod względem technicznym doprowadzenie wapienia pozwala na wykorzystanie strumieni recyrkulujących spalin o właściwej temperaturze i przemieszczających się w kierunku płomienia z prędkością ok.5 m/s. Można w ten sposób czas pobytu co najmniej podwoić.



Rys. 2. Koncentracja SO_2 w spalinach w palenisku kotła bloku 200 MW
Fig. 2. SO_2 - content in the flue gas for the furnace of 200 MW boiler

Na rys. 2 przedstawiono zmierzony przebieg koncentracji SO_2 (przeliczony na 5% O_2) w spalinach wzdłuż drogi spalania w palenisku kotła bloku 200 MW. Krzywa 1 przedstawia teoretyczny przebieg dla spalania całej ilości palnej

- Konieczne jest opracowanie krajowych norm emisji zanieczyszczeń z różnych typów i wielkości kotłów w zależności od typu paleniska i spalanego paliwa . Umożliwi to stosowanie prostych środków ograniczenia emisji dla małych i średnich jednostek , takich jak kotły rusztowe . Kosztowne skomplikowane instalacje oczyszczające będą wtedy stosowane dla kotłów energetycznych i dużych pieców przemysłowych .
- Niemniej ważne jest zapewnienie aparatury pomiarowej i opracowanie jednolitych metod wyznaczania emisji zanieczyszczeń . Pozwoli to na jednoznaczną ocenę porównawczą różnych typów kotłów i da możliwość oceny efektów wprowadzonych usprawnień .

LITERATURA

[1] Schroth G. : Rost-Renaissance? Umweltfreundliche Rostfeuerungen, Betriebserfahrungen , Messergebnisse,Entwicklungsmöglichkeiten . Energie, 1985 nr 7 .

[2] Hössle H. : Entschwefellung mit Trockenadditiven in Rostfeuerungen. Energie , 1985 nr 7 .

[3] Kerber G. : Erfolgreiche Primärmassnahmen zur Reduzierung von Emissionen im Heizkraftwerk der Stadtwerke Würzburg AG an der Friedenbrücke . EVT-Register 47/88 .

[4] Thormeyer H.P., Kramlinger O. : 100 t/h Naturumlauf -Dampferzeuger für die Feinpaierfabrik Zanders AG in Bergischgladbach . EVT- Register 48/89 .

[5] Matten J. , Wigand P. : Die neue Rostkessel-Generation in der Zuckerindustrie . Energie , 1987 nr 4 .

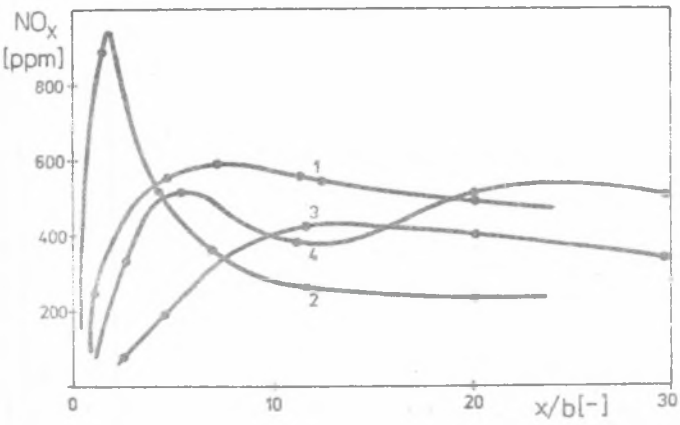
[6] Maloney K.L. : Recycle Flue Gas to Cut Emissions Improve Boiler Performance . Power , 1983 nr 6

[7] Pasoń A. , KonieczyńskiJ. : Wskaźniki i normy emisji substancji zanieczyszczających powietrze atmosferyczne . Ochrona powietrza , 1989 nr 2 .

[8] Kucowski J. , Laudyn D. , Przekwas M. : Energetyka a ochrona środowiska . WNT, Warszawa 1987 .

[9] Machura K. , Wasylów J. : Obniżenie emisji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego z kotłów rusztowych przez usprawnienie procesu spalania . Gospodarka Paliwami i Energia , 1990 nr 1 .

Zapewnia się wówczas nie tylko szybki zapłon, lecz również szybkie początkowe wypalenie się paliwa i stromy wzrost temperatury. Przy właściwie zaprojektowanym odparowniku zapewniającym intensywne odprowadzenie ciepła wyzwolonego do ścian komory rezultatem szybkiego wzrostu temperatury jest jej szybki spadek, ponieważ do momentu maksimum temperatury ulega wypaleniu większa część palnych składników paliwa. Wyższa temperatura maksymalna jest z punktu widzenia minimalizacji powstawania NO_x niedogodna, jednak następuje wówczas skrócenie czasu pobytu mieszanki w obszarze wysokich temperatur, będące z kolei zjawiskiem pozytywnym. Jednocześnie zapewniony zostaje wysoki stopień wypalenia paliwa. Spalanie w obszarze przypalnikowym jest lekko nadstechiometryczne z intensywną dyfuzją powietrza wtórnego do strumienia palącej się mieszanki pierwotnej. Lokalnie pojawia się atmosfera redukcyjna, której niekorzystny wpływ (żużlowanie ścian) można zrównoważyć większą równomiernością spalania. Obecność CO w tej fazie spalania ma pozytywny redukcyjny wpływ na powstały NO. Wynikiem jest typowy spadek koncentracji NO wzdłuż drogi spalania przy dobrze wyregulowanym palenisku. Na rys.3 przedstawiono zmierzone koncentracje NO w spalinach w paleniskach 3 kotłów. Krzywa 1 podaje wyniki pomiarów w palenisku bloku 200 MW przy spalaniu z dużym nadmiarem powietrza. Po wyregulowaniu w sposób opisany uprzednio uzyskano w wyniku pomiarów krzywą 2. Krzywa 3 odpowiada wartościom w palenisku opalanego mazutem kotła 20 MW przy temperaturze w obszarze palnikowym 1400 °C i koncentracji CO_2 ok.12%. Koncentracje w palenisku kotła o wydajności 220 t pary na godzinę spalającego węgiel kamienny przy stabilizacji gazem koksowniczym podaje krzywa 4. I tu widoczny jest wyraźny spadek. Prawidłowość podanych rozważań potwierdził szczegółowy pomiar kotła bloku 200 MW, w którym dla całego zakresu obciążeń stwierdzono spadek o połowę koncentracji NO w spalinach za kotłem po regulacji spalania.

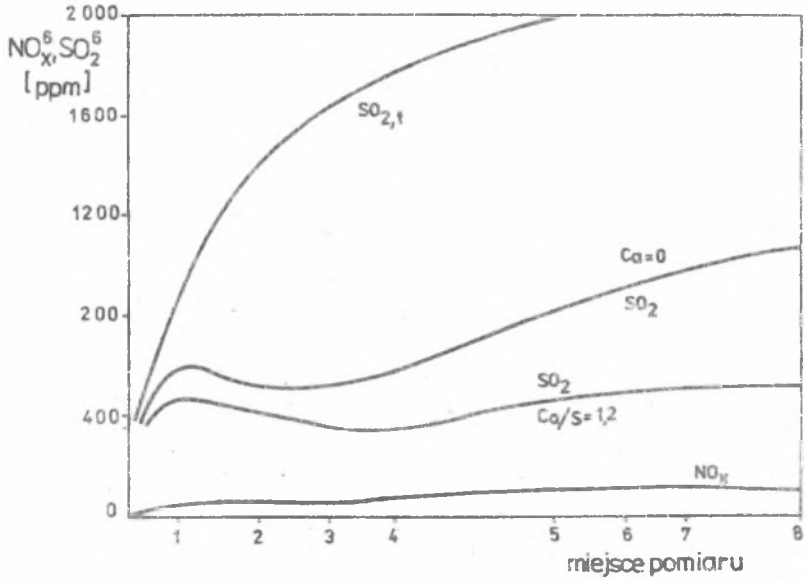


Rys. 3. Koncentracja NO w spalinach - 1,2 dla bloku 200 MW, 3 dla kotła mazutowego o mocy 20 MW, 4-dla kotła o wydajności 220 t pary/h

Fig. 3. NO_x - content in the flue gas. 1,2 - 200 MW coal-fired boiler, 3 - 20 MW oil-fired boiler, 4-coal and gas-fired boiler for 220 t/h

4. PALENISKA FLUIDALNE

Problemy wynikające z konieczności zapewnienia odpowiedniego wypalenia paliwa przy jednoczesnej minimalizacji powstawania składników szkodliwych rozwiązuje w sposób najbardziej zadowalający palenisko fluidalne. Intensywność wymiany masy i ciepła oraz długi czas pobytu cząstek paliwa w palenisku zapewniają wysoki stopień wypalenia, dając jednocześnie najlepsze warunki dla kalcynacji wapienia wprowadzonego do warstwy, umożliwiając prawidłowe związanie SO_2 z powstałym CaO. Temperatura pracy ok. 900 °C jest korzystna zarówno dla kalcynacji wapienia, jak i z punktu widzenia minimalizacji powstawania NO_x. Opisane zalety spalania fluidalnego przedstawia rys. 4, gdzie podano zmierzone koncentracje SO_2 i NO_x na drodze spalin. Podane wartości odnoszą się do zawartości 6% O_2 w spalinach.

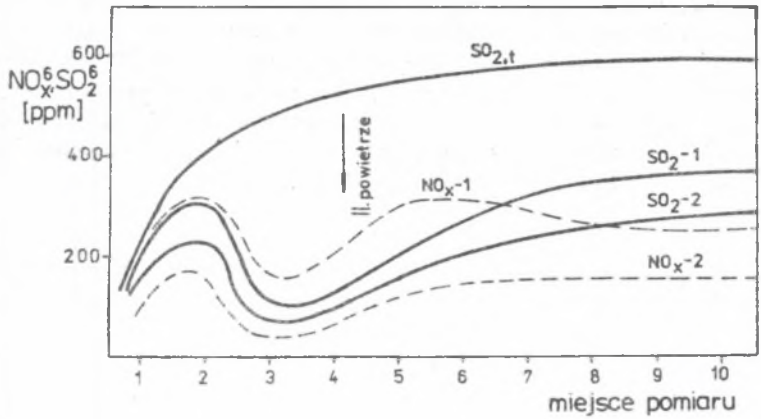


Rys. 4. Przebieg koncentracji SO_2 i NO_x w jednostopniowym palenisku fluidalnym

Fig. 4. SO_2 and NO_x contents in the flue gas of the fluidized bed furnace

W jednostopniowym palenisku fluidalnym spalane są niskokaloryczne, zasiarczone węgle brunatne o wartości opałowej 6,8 MJ/kg. Wyznaczona na drodze obliczeń teoretyczna koncentracja SO_2 (krzywa $SO_{2,t}$) jest wyraźnie b. stroma niż rzeczywista nawet bez dodawania zmielonego wapienia do warstwy fluidalnej. Jej ostatecznej wartości na końcu kotła odpowiada stopień odsiarczenia 41,8% wynikający z zawartości wapienia w popiele.

Dodawanie wapienia w ilości Ca/S=1,2 (stechiometrycznie) powoduje dalsze obniżenie koncentracji SO_2 do stopnia odsiarczenia 84,2%. Końcowa koncentracja NO_x wynosi 110 ppm, dla zawartości O_2 w spalinach równej 6%. Wartości zamierzone w palenisku kotła typu Ignifluid spalającego ostrawski węgiel kamienny podano na rys. 5.



Rys. 5. Przebieg koncentracji SO_2 i NO_x w palenisku kotła Ignifluid
Fig. 5. SO_2 and NO_x contents in the flue gas for the furnace of Ignifluid - boiler

Obok teoretycznego przebiegu koncentracji SO_2 zamieszczono wyniki pomiarów dla dwu różnych wariantów procesu spalania. Wariant 1 charakteryzował się współczynnikiem nadmiaru powietrza n=1,8, wariant 2 - n=1,3. W obu przypadkach wystąpiło obniżenie koncentracji SO_2 w spalinach uzyskane jedynie na skutek obecności wapienia w popiele. Wartości na końcu kotła spadają w miarę spadku nadmiaru powietrza. Stopień odsiarczenia dla wariantu 1 wyniósł 32%, a dla wariantu 2 - 44%. Podobną zależność stwierdzono podczas pomiaru zawartości NO_x w spalinach, gdzie dla wariantu 1 końcowa koncentracja wyniosła 260 ppm oraz dla wariantu 2 - 160 ppm. Wartości zostały przeliczone na udział O_2 w spalinach równy 6%.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Ludwik OWYNAR

СЖИГАНИЕ ТОПЛИВ И ОБРАЗОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Р е з ю м е

Существующее информации по ходу процесса горения в топках котлов делают возможным управлять процессом для уменьшения эмисси вредных газовых веществ. Возможно при этом получение лучшего выгорания топлива и в результате высшего коэффициента полезного действия сгорания. Однако необходимо иметь возможность точного измерения параметров предопределяющих развитие процесса как в конце котла так и в топке.

FIRING OF THE FUELS AND FORMATION OF HARMFUL SUBSTANCES

S u m m a r y

Comprehensive research into the aerodynamics of firing in pulverised coal Furnaces gives knowledges about limitation of harmful substances generated during the firing. Basically, all the decisive characteric operating values of pulverised coal furnaces can be favourably affected by adjustment of the firing process. Controlled firing of pulverized coal was applicated in the region of burners of all 200 MW and 500 MW power - production units pulverised coal and fluid - bed furnaces.