ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995
Seria: ENERGETYKA z. 125 Nr kol. 1280

Marek PRONOBIS
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska

WPŁYW POPRAWY JAKOŚCI PRZEMIAŁU WYNIKAJĄCEJ Z ZASTOSOWANIA PIERWOTNYCH METOD DENITRACJI SPALIN NA PRACĘ KOTŁA

Streszczenie. Praca poświęcona jest analizie wpływu zmienionej, na skutek wprowadzenia pierwotnych metod redukcji NO_x, granulacji paliwa na wymianę ciepła, intensywność erozji popiołowej i tworzenie się osadów zanieczyszczeń na powierzchniach konwekcyjnych kotła. Stwierdzono, że rezultatem większego rozdrobnienia popiołu lotnego jest wzrost radiacyjnego współczynnika wnikania ciepła oraz nasilenie się procesu powstawania osadów popiołowych przy jednoczesnym zmniejszeniu intensywności erozji rur.

RESULTING FROM PRIMARY METHODS OF NO_x REDUCTION COAL GRINDING QUALITY IMPROVEMENT AND ITS INFLUENCE ON BOILER OPERATION

Summary. The improvement of coal grinding quality change significantly the surface and mean diameter of coal particles. The increase of fly ash fineness leads to the growth of radiative heat transfer coefficient and to the enhancement of the heat transfer, especially in the furnace and radiative superheter area. The increase in coal fineness deteriorates to some extent the heat transfer in tube banks in consequence of higher fouling caused by the increased fly ash fineness. The enhancement of grinding quality brings about the reduction of erosive wear of the tubes.

EINFLUß DER DURCH EINFÜHRUNG DER PRIMÄRMAßNAHMEN ZUR NO_x MINDERUNG VERURSACHTEN VERBESSERUNG VON KOHLENFEINHEIT AUF DIE ARBEIT EINES KESSELS

Zusammenfassung. Die vorliegende Arbeit analysiert den Zusammenhang zwischen der Kohlenfeinheit und der Wärmeübertragung, Verschmutzung als auch Erosionen in konvektiven Kesselheizfächen. Aus den Berechnungen erfolgt, daß die Feinmahlung verbessert den

Strahlungsaustausch bei gleichzeitiger Zunahme der Ansatzbildung und Abnahme des Rohrverschleisses.

1. WSTĘP

Wprowadzenie spalania niskoemisyjnego w już istniejącym kotle powoduje szereg, nieraz bardzo istotnych, zmian w jego pracy. Dla zachowania właściwego stopnia wypalenia paliwa i uniknięcia zwiększonej zawartości części palnych w popiele przy utrzymywaniu stosunkowo niskich nadmiarów powietrza w komorze paleniskowej i znacznym rozciągnięciu obszaru spalania wzdłuż komory konieczna jest poprawa jakości przemiału węgla. Uzyskane na skutek tego powiększenie powierzchni właściwej pyłu pozwala na szybkie spalenie większej części paliwa w pobliżu palników, czego efektem jest pozostawienie stosunkowo długiego odcinka komory, w którym możliwa jest redukcja powstałych w początkowej fazie spalania tlenków azotu.

Niniejsza praca poświęcona jest analizie wpływu zmienionej granulacji paliwa na wymianę ciepła, intensywność erozji popiołowej i tworzenie się osadów zanieczyszczeń na powierzchniach konwekcyjnych kotła.

2. WPŁYW POPRAWY JAKOŚCI PRZEMIAŁU NA INTENSYWNOŚĆ RADIACYJNEJ WYMIANY CIEPŁA W KOTLE

Stosowane dotąd w kraju jakości przemiału węgla odpowiadają pozostałościom sitowym $R_{0,09} \cong 35 \div 45\%$ i $R_{0,20} \cong 5 \div 15\%$. Natomiast wymagania dla palników niskoemisyjnych narzucają znacznie wyższą jakość przemiału, w granicach $R_{0,09} \cong 15 \div 20\%$ i $R_{0,20} < \%$, co wymaga odpowiedniej przebudowy separatorów młynowych.

Tak znaczna poprawa jakości przemiału powoduje, że powierzchnia właściwa popiołu lotnego bardzo wzrasta, a to z kolei intensyfikuje radiacyjną wymianę ciepła między spalinami a powierzchniami ogrzewalnymi kotła. Parametrem charakteryzującym rozmiar cząstek popiołu lotnego jest średnica charakterystyczna d_p, odpowiadająca powierzchni właściwej pyłu F_p zgodnie z równaniem:

$$d_p = \frac{6}{\rho_p F_p} \tag{1}$$

Występującą w wzorze powierzchnię właściwą pyłu określić można, przy założeniu kulistości ziaren, za pomocą wzoru [1]:

$$F_p = 6{,}39 \cdot 10^6 \frac{e^x}{\rho_p d_m} \quad [m^2/kg] \tag{2}$$

gdzie

$$x = 1{,}795/n \tag{3}$$

Wartość d_m odpowiadającą znanej liczbie polidyspersji, która odpowiada określonej pozostałości sitowej $R_{0,09}$ wyznaczyć można z przekształcenia wzoru Rosina–Rammlera–Benneta jako:

$$d_m = \frac{88}{(4{,}6052 - \ln R_{0,09})^{1/n}} \quad [\mu m] \tag{4}$$

Rzeczywisty kształt ziaren pyłu w mniejszym lub większym stopniu odbiega od kulistego, co powoduje konieczność wprowadzenia odpowiedniego współczynnika kształtu, przez który należy mnożyć wartości F_p określone dla ziaren kulistych. Jednak zarówno modele matematyczne radiacyjnej wymiany ciepła, jak i erozji oraz intensywności zanieczyszczania się powierzchni opierają się na założeniu kulistej formy cząstek pyłu, stąd do obliczeń w ramach niniejszej pracy przyjęto również takie założenie.

W zależności od rodzaju młyna i zastosowanego separatora oraz rodzaju mielonego węgla zmienia się liczba polidyspersji, która charakteryzuje stopień równomierności rozmiarów ziaren pyłu. Im jest większa, tym pył jest bardziej zbliżony do monodyspersyjnego. W typowych instalacjach na węgiel kamienny n = 0,8 – 1,2, przy czym niższe wartości odpowiadają młynom szybkobieżnym, np. wentylatorowym, a wyższe średniobieżnym, np. pierścieniowo–kulowym. Charakterystyczne parametry pyłów, obliczone dla podanych wartości n, zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Parametry charakterystyczne pyłów dla liczby polidyspersji n = 1,2

$R_{0,09}/R_{0,20}$	50,0/15,6	40,0/8,6	20,0/1,34	10,0/0,21
d_p [μm]	32,2	25,6	16,0	11,9
d_m [μm]	119,4	94,6	59,0	43,9
$F_p(\rho_p = 1500)$	124,1	157,0	251,3	337,2
$F_p(\rho_p = 2000)$	93,1	117,8	188,5	252,9
$F_p(\rho_p = 2500)$	74,5	94,2	150,8	202,3

Tablica 2

Parametry charakterstyczne pyłów dla liczby polidyspersji n = 0,8

$R_{0,09}/R_{0,20}$	50,0/26,3	40,0/17,1	20,0/4,5	10,0/1,18
d_p [μm]	17,9	5,6	2,8	1,8
d_m [μm]	139,1	98,2	48,5	31,0
$F_p(\rho_p = 1500)$	506,4	717,0	1449,2	2269,6
$F_p(\rho_p = 2000)$	379,8	537,8	1086,9	1702,2
$F_p(\rho_p = 2500)$	303,8	430,2	869,5	1361,8

Wyniki powyższe dowodzą, że warunki przemiału paliwa istotnie zmieniają powierzchnię właściwą i średnią średnicę ziaren pyłu. Na uwagę zasługuje znaczny wzrost F_p, a tym samym zużycia energii na rozdrobnienie paliwa, w miarę spadku liczby polidyspersji n. Np. dla tej samej pozostałości sitowej $R_{0,09}$ = 20%, przy n = 1,2 i gęstości pyłu ρ_p = 1500 kg/m^3, wartość F_p = 251 m^2/kg, natomiast przy n = 0,8 powierzchnia F = 1449 m^2/kg, przy jednoczesnym wzroście pozostałości $R_{0,20}$ z 1,34 do 4,5%.

Wiadomo przy tym, że wyższa wartość $R_{0,20}$ powoduje powiększenie udziału pierwiastka C w pozostałościach po spalaniu. Stąd charakterystykę przemiałową o niskiej liczbie polidyspersji należy uznać za niekorzystną.

Istotnym problemem jest określenie, czy i jak zmieniają się średnice ziaren pyłu po jego spaleniu. Problem ten jest dotąd mało zbadany, lecz dostępne wyniki [2] dowodzą, że proces przemiału prowadzi do rozdzielenia materii organicznej i mineralnej węgla. Ziarna palne praktycznie w całości ulegają zgazowaniu, w związku z czym granulacja popiołu lotnego jest zależna od ziarnistości składników mineralnych węgla. Ponieważ separacja w młynie odbywa się przy wykorzystaniu sił bezwładności cząstek, rozmiar ziaren przechodzących do przewodów pyłowych jest funkcją ich gęstości. Stąd składniki mineralne o gęstości porównywalnej z gęstością materii organicznej będą miały granulację zbliżoną do granulacji ziaren palnych. Z powodu braku odpowiednich danych dla celów niniejszej pracy przyjęto założenie upraszczające, że wymiar d_p reprezentuje zarówno średnią średnicę ziaren pyłu węglowego, jak i powstałego z niego popiołu lotnego.

Zmiana d_p, wynikająca ze zmiany jakości działania odsiewacza, powoduje zmianę współczynnika osłabienia promieniowania przez cząstki lotnego popiołu [3]:

$$k_p = \frac{43000\,\mu_p}{\sqrt[3]{T_s^2\,d_p^2}} \tag{5}$$

wpływającego na wartość emisyjności spalin ε_s, a więc i radiacyjnego współczynnika wnikania ciepła α_{1r}:

$$\varepsilon_s = 1 - \exp(-k_r\, p\, s) \tag{6}$$

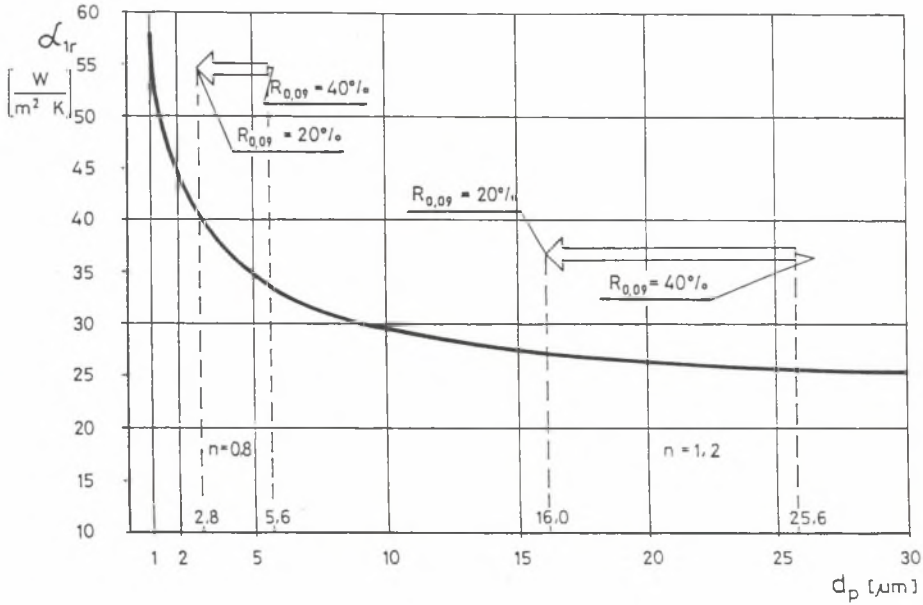
gdzie

$$k_r = k_p + k_g \tag{7}$$

skąd

$$\alpha_{1r} = C_s\, a_{ść}\, \varepsilon_s\, T_s^3 \frac{1 - (T_{ść}/T_s)^4}{1 - T_{ść}/T_s} \tag{8}$$

Wpływ zmian średnicy charakterystycznej d_p na wartość radiacyjnego współczynnika wnikania ciepła przedstawiono na rys. 1 dla przegrzewacza pary w kotle OP–230. Zauważyć można wzrost α_{1r} w miarę zmniejszania się d_p. Wynikowy efekt objawia się we wzroście ilości ciepła przejętego przez wymiennik, przy czym zmiana ta zależy naturalnie od udziału składowej radiacyjnej w strumieniu przejętego ciepła.



Rys. 1. Zależność radiacyjnego współczynnika wnikania ciepła od granulacji popiołu lotnego

Fig. 1. The influence of mean diameter of fly ash particles on the radiative heat transfer coeffficient

3. WPŁYW ZMIANY GRANULACJI PYŁU NA POWSTAWANIE OSADÓW POPIOŁU

Stan osadów popiołowych na powierzchniach rur części konwekcyjnej jest zdeterminowany przez zbiór parametrów, które częściowo są związane z granulacją popiołu lotnego. Miarą wpływu osadów na wymianę ciepła jest stopień efektywności cieplnej Ψ będący stosunkiem współczynników przenikania ciepła w pęczku zanieczyszczonym i czystym. W przypadku pęczków o układzie korytarzowym wartość Ψ opisuje zależność [4]:

$$\Psi = 0{,}25\sigma_1^{0{,}106}\,\sigma_2^{-0{,}044}\,(D/D_b)^{-0{,}104}\,(w/w_b)^{0{,}185}\,(R_{0{,}03}/R_{0{,}03b})^{0{,}432}\,(T_s/T_{cb})^{-0{,}135}\,c_m^{-0{,}314} \tag{9}$$

gdzie c_m – wskaźnik charakteryzujący wpływ składu chemicznego popiołu lotnego na jego osadotwórczość opisany zależnością:

$$c_m = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2} \tag{10}$$

Dla uzyskania bezwymiarowych stosunków (sympleksów) podane wielkości zmienne odniesiono do ich przyjętych arbitralnie wielkości bazowych oznaczonych indeksem „b".

W przypadku pęczków przestawnych wartość Ψ opisuje wzór:

$$\Psi = 0{,}46\sigma_2^{-0{,}111}\,(w/w_b)^{0{,}056}\,(R_{0{,}03}/R_{0{,}03b})^{0{,}09}\,(T_s/T_{sb})^{-0{,}138}\,c_m^{-0{,}394} \tag{11}$$

Ponieważ poprawienie jakości przemiału w młynach wpływa na wartość $R_{0{,}03}$, można określić wpływ zmiany granulacji na stopień efektywności jako stosunek $\Psi(R_{0{,}03_2})/\Psi(R_{0{,}03_1}) = \Psi_2/\Psi_1$:

– dla układu korytarzowego

$$\Psi_2/\Psi_1 = (R_{0{,}03_2}/R_{0{,}03_1})^{0{,}432} \tag{12}$$

– dla układu przestawnego

$$\Psi_2/\Psi_1 = (R_{0{,}03_2}/R_{0{,}03_1})^{0{,}09} \tag{13}$$

Ponieważ z obliczeń wynika, że wpływ zmiany granulacji popiołu lotnego na zmiany średnich prędkości oraz temperatur spalin w obrębie pęczków konwekcyjnych jest znikomy, w analizie uwzględniono jedynie związek między sto-

pniem efektywności a granulacją popiołu. Ze wzorów (12) i (13) obliczono zmiany stopnia efektywności cieplnej Ψ (Ψ_2/Ψ_1) dla pęczków konwekcyjnych kotła OP–230 podane w tabl. 3.

Dla zmiany granulacji pyłu z $R_{0,09}$ = 40% na $R_{0,09}$ = 20% przy n = 1,2 i 0,8 określono z prawa Rosina–Rammlera odpowiednie wartości $R_{0,03_1}$ i $R_{0,03_2}$. Dla n = 1,2 obliczono również zmiany stopnia efektywności odpowiadające przejściu z przemiału o $R_{0,09}$ = 40% na $R_{0,09}$ = 10%. Wyniki zestawione w tabl. 3 pozwalają zauważyć spadek Ψ w warunkach pracy przy polepszonym przemiale węgla, co związane jest z większą osadotwórczością drobniejszego popiołu lotnego. Na uwagę zasługuje większa wrażliwość pęczków korytarzowych na zmiany granulacji pyłu. Stąd w kotłach, których powierzchnie konwekcyjne zbudowane są w układzie korytarzowym, należy się liczyć z większym pogorszeniem wymiany ciepła po poprawieniu jakości przemiału węgla. Silniejszy wpływ zaznacza się dla pyłów o niższej liczbie polidyspersji.

Tablica 3

Zmiany stopnia efektywności powierzchni konwekcyjnych w funkcji poprawy jakości przemiału węgla. Indeks 1 – stan wyjściowy, 2 – po zmianie jakości przemiału. Obliczenia przykładowe wykonano dla I st. przegrzewacza kotła OP–230

n	$R_{0,09_2}/R_{0,09_1}$	$R_{0,03_2}/R_{0,03_1}$	Ψ_2/Ψ_1 ukł. kor.	Ψ_2/Ψ_1 ukł. przest.
1,2	20/40 [%]	64,3/77,7 [%]	0,905	0,983
0,8	20/40 [%]	49,0/68,0 [%]	0,868	0,971
1,2	10/40 [%]	53,1/77,7 [%]	0,848	0,966

Przedstawione wyniki dowodzą, że poprawa jakości przemiału, prowadząc do wzrostu stopnia zanieczyszczenia powierzchni ogrzewalnych, pogarsza w pewnym stopniu wymianę ciepła w kotle. Zjawisko to kompensuje omówioną poprzednio poprawę intensywności radiacyjnej wymiany ciepła.

4. WPŁYW POPRAWY JAKOŚCI PRZEMIAŁU NA WYMIANĘ CIEPŁA W KOTLE

Dla oceny wpływu poprawy jakości przemiału przeprowadzono obliczenia cieplne kotła OP–230 wyposażonego w młyny EM–70 (pierścieniowo–kulowe) dla 2 granulacji:

– przemiał gruby $R_{0,09}$ = 40% i $R_{0,20}$ = 8,6% (d_p = 25,6 μm),
– przemiał drobny $R_{0,09}$ = 10% i $R_{0,20}$ = 0,21% (d_p = 11,9 μm).

Oba pyły charakteryzują się liczbą polidyspersji n = 1,2.

Charakterystyka kotła przedstawia się następująco:
- Wydajność maksymalna trwała 63,9 kg/s (230 t/h)
- Ciśnienie robocze w walczaku 10,1 MPa
- Ciśnienie pary na wylocie z kotła 9,4 MPa
- Temperatura pary przegrzanej 500°C
- Temperatura wody zasilającej 210°C.

Do obliczeń jako paliwo założono węgiel kamienny o charakterystyce:

Wartość opałowa	Q_i^r	20 300 kJ/kg
Zawartość popiołu	A^r	22%
Całkowita zawartość wilgoci	W_t^r	10%
Zawartość części lotnych w masie palnej	V^{daf}	39%.

Uzyskane rozkłady temperatur spalin i pary oraz ilość wody wtryskiwanej do regulacji temperatury pary dla obu wariantów podano w tabl. 4.

Tablica 4

Porównanie temperatur czynników i strumieni wody wtryskowej m_w dla różnych granulacji popiołu lotnego

d_p µm	Ψ	t_{sk} °C	t_{sw} °C	t'_{p1} °C	t''_{p1} °C	t'_{p2} °C	t''_{p2} °C	t'_{p3} °C	t''_{p3} °C	m_w kg/s
25,6	stan wyjść.	1187	156	315	401	354	460	408	500	8,23
11,9	stan wyjść.	1172	156	315	398	354	460	409	500	7,89
11,9	wzrost	1171	156	315	400	355	460	419	500	7,24

Oznaczenia temperatur:

t_{sk} – temperatura spalin na wylocie z komory paleniskowej,
t_{sw} – temperatura spalin na wylocie z kotła,
t'_{pn} – temperatura pary na wlocie do n–tego stopnia przegrzewacza,
t''_{pn} – temperatura pary na wylocie z n–tego stopnia przegrzewacza.

W drugim wierszu tabl. 4 zestawiono wyniki dla drobnego przemiału, przy założeniu że stan zanieczyszczeń powierzchni konwekcyjnych kotła jest taki sam jak przed zmianą granulacji pyłu, natomiast w wierszu trzecim uwzględniono wpływ poprawy jakości przemiału na wzrost stopnia zanieczyszczenia, zgodnie z wynikami podanymi w tabl. 3.

Wzrost rozdrobnienia popiołu lotnego zmienia w pewnym stopniu rozkład ilości ciepła przejmowanego w poszczególnych powierzchniach ogrzewalnych kotła. Przejmowanie ciepła najsilniej wzrasta w powierzchniach opromieniowanych, w tym i w komorze paleniskowej, co objawia się m.in. spadkiem temperatury na wylocie z paleniska. Pociąga to za sobą zmniejszenie ilości wody wtryskiwanej do przegrzewacza. Ponieważ w kotle OP–230 najsilniejszemu pogorszeniu na skutek wzrostu zanieczyszczeń ulega wymiana ciepła w korytarzowym III st. przegrzewacza, to następuje spadek ilości wody wtryskowej przy jednoczesnym powiększeniu ilości wody przepływającej przez

podgrzewacz wody (przestawny). W związku z tym sprawność kotła nie zmienia się, natomiast oba rozpatrywane zjawiska prowadzą do zmniejszenia m_w, co w skrajnych przypadkach może prowadzić do wystąpienia niedogrzewu pary. Jeżeli powierzchnie konwekcyjne zbudowane są głównie w układzie korytarzowym, poprawa jakości przemiału może spowodować na tyle silny spadek stopnia efektywności Ψ, że na skutek obniżenia sprawności kotła wzrośnie zużycie paliwa i ilość spalin, w związku z czym ilość ciepła przejętego w obszarze przegrzewacza nie tylko nie spadnie, w porównaniu do stanu wyjściowego, ale nawet może wzrosnąć, powodując również pewien wzrost ilości wody wtryskiwanej do regulacji temperatury pary.

5. WPŁYW ZMIANY GRANULACJI PYŁU NA INTENSYWNOŚĆ EROZJI POPIOŁOWEJ

Wielkość erozyjnego ubytku materiału rurowego [μm/h], zgodnie z badaniami [5 – 8], można przedstawić w postaci zależności:

$$\Delta h/\tau = 2{,}33 \cdot 10^{-7}\, w_o^3\, \beta_w^3\, e_p\, c_p\, \beta_c\, \beta_m\, \beta_2\, \eta_p \tag{14}$$

Zależność (14) opisuje ubytek materiału rury w miejscu maksymalnej erozji, tzn. dla współrzędnej kątowej $\varphi \cong 45^\circ$ licząc od tworzącej napływowej. Średnie prawdopodobieństwo trafienia rury przez cząstki polidyspersyjnego popiołu opisuje wzór:

$$\eta_{pśr} = \frac{\sum \eta_i\,(R_i - R_{i+1})}{100} \tag{15}$$

gdzie R_i – udział ziaren większych od d_{pi}, % .

Prawdopodobieństwa składowe η_p (dla ziaren z poszczególnych przedziałów granulacji) są funkcją liczb: Stokesa – Stk, Froude'a Fr oraz Reynoldsa: Re_{dp} dla ruchu pyłu i Re_D dla przepływu spalin w kanale. Poszczególne liczby kryterialne zdefiniowane są następująco:

$$Stk = \frac{d_p^2\, \rho_p\, w_o}{18 \nu_s\, \rho_s\, D} \tag{16}$$

$$Fr = \frac{w_o^2}{gD} \tag{17}$$

gdzie g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2,

$$Re_{dp} = \frac{w_o\, d_p}{\nu_s} \tag{18}$$

$$Re_D = \frac{w_o\, D}{\nu_s} \tag{19}$$

Wzór opisujący η_p ma postać:

$$\eta_p = \frac{1}{880\, C_1^{-0,608} + 1} \tag{20}$$

gdzie

$$C_1 = (18\, Stk)^{2,5}\, Re_D^{0,8} / (Fr\, Re_{dp}^{0,3}) \tag{21}$$

Drobniejszy przemiał węgla narzucony przez wprowadzenie spalania niskoemisyjnego powoduje obniżenie $\eta_{pśr}$ w stosunku do stanu wyjściowego. Zgodnie ze wzorem (14) analogicznie zmienia się ubytek erozyjny rur. Wynikający z obliczeń zakres tych zmian obrazuje tabl. 5, zawierająca dane odpowiadające poprawie jakości przemiału z $R_{0,09}$ = 40% na 20% dla liczby polidyspersji n = 1,2 i 0,8 oraz dodatkowo dla n = 1,2 i zmianie $R_{0,09}$ z 40% na 10%.

Tablica 5

Wpływ poprawy jakości przemiału na obniżenie zużycia erozyjnego rur powierzchni ogrzewalnych kotła

n	$R_{0,09_2}/R_{0,09_1}$	$\eta_{pśr_2}/\eta_{pśr_1}$
1,2	20/40	0,579
0,8	20/40	0,617
1,2	10/40	0,357

Zauważyć można pozytywny wpływ poprawy jakości przemiału na obniżenie zużycia erozyjnego rur powierzchni ogrzewalnych kotła, które dla zmniejszenia wartości $R_{0,09}$ z 40 na 20% wynosi ok. 40%. Obniżenie $R_{0,09}$ z 40 na 10% powoduje zmniejszenie erozji o ponad 60%. Zjawisko to zaznacza się nieco silniej w przypadku pyłów o wyższej liczbie polidyspersji.

6. WNIOSKI

1. Warunki przemiału paliwa (rodzaj młyna i granulacja) istotnie zmieniają powierzchnię właściwą i średnią średnicę ziaren pyłu.
2. Wzrost drobności pyłu prowadzi do wzrostu radiacyjnego współczynnika wnikania ciepła α_{1r}. Wynikowy efekt objawia się we wzroście ilości ciepła

przejętego przez wymiennik, w proporcji do udziału składowej radiacyjnej w strumieniu przejętego ciepła.

3. Wzrost rozdrobnienia węgla powoduje spadek stopnia efektywności Ψ, co związane jest z większą osadotwórczością drobniejszego popiołu lotnego. Na uwagę zasługuje większa wrażliwość pęczków korytarzowych na zmiany granulacji pyłu. Silniejszy wpływ zaznacza się dla pyłów o niższej liczbie polidyspersji.
4. Poprawa jakości przemiału ma pozytywny wpływ na obniżenie zużycia erozyjnego rur powierzchni ogrzewalnych kotła. Zjawisko to zaznacza się nieco silniej w przypadku pyłów o wyższej liczbie polidyspersji.

OZNACZENIA

$a_{ść}$ – zastępcza emisyjność ścianki rury,
c_p – średnia koncentracja popiołu lotnego w spalinach, g/m^3,
C_s – stała promieniowania ciała doskonale czarnego, W/(m^{2}K^4),
D – średnica zewnętrzna rur pęczka, m,
d_m – średni statystyczny rozmiar ziaren pyłu, μm,
d_p – średni rozmiar ziaren pyłu, μm,
e_p – wskaźnik erozyjności charakteryzujący własności erozyjne popiołu lotnego, μm/h,
F_p – jednostkowa powierzchnia pyłu, m^2/kg,
Δh – ubytek erozyjny materiału rury w miejscu maksymalnej erozji, μm,
k_p – współczynnik osłabienia promieniowania przez cząstki lotnego popiołu, 1/(m MPa),
k_g – współczynnik osłabienia promieniowania przez gazy trójatomowe zawarte w spalinach, 1/(m MPa),
n – liczba polidyspersji,
p – ciśnienie spalin, MPa,
$R_{0,03}$ – udział ziaren popiołu większych od 30 μm, %,
$R_{0,09}$ – udział ziaren popiołu większych od 88 μm, %,
$R_{0,20}$ – udział ziaren popiołu większych od 200 μm, %,
s – grubość promieniującej warstwy spalin, m,
T_s – średnia temperatura bezwzględna spalin w obrębie pęczka, K,
$T_{ść}$ – średnia temperatura bezwzględna ścianek rur w obrębie pęczka, K,
w – prędkość spalin w najwęższym przekroju pęczka, m/s,
w_o – średnia prędkość spalin w pustym kanale na wlocie do pęczka, m/s,
α_{1r} – radiacyjny współczynnik wnikania ciepła, W/(m^{2}K),
β_c – parametr charakteryzujący rozkład koncentracji popiołu lotnego w spalinach,
β_m – parametr charakteryzujący wpływ temperatury pracy stali na zużycie erozyjne rur,
β_w – parametr charakteryzujący rozkład prędkości spalin w kanale kotła,

β_2 – parametr charakteryzujący wpływ podziałki poprzecznej pęczka na zużycie erozyjne rur,
ε_s – emisyjność spalin,
η_p – średnie prawdopodobieństwo uderzenia cząstek popiołu w rurę,
μ_p – koncentracja popiołu lotnego w spalinach, kg/m^3,
ν_s – kinematyczny współczynnik lepkości spalin, m^2/s,
ρ_p – gęstość pyłu, kg/m^3,
ρ_s – gęstość spalin, kg/m^3,
$\sigma_1 = s_1/D$ – względna podziałka poprzeczna rur w pęczku,
$\sigma_2 = s_2/D$ – względna podziałka wzdłużna rur w pęczku,
Ψ – stopień efektywności powierzchni,
τ – czas pracy kotła, a,

LITERATURA

[1] Lobscheid H.: DAMPF. Babcock – Handbuch. Dutsche Babcock & Wilcox–Werke AG 1965.
[2] Kantorowicz B.W.: Gidrodinamika i tieorija gorienija potoka topliwa. Izdatielstwo „Mietałłurgija". Moskwa 1971.
[3] Tiepłowoj rasczot kotielnych agriegatow. Normatiwnyj mietod. Energija, Moskwa 1973.
[4] Pronobis M.: Wymiana ciepła w zanieczyszczonych powierzchniach konwekcyjnych kotłów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka, z. 115, Gliwice 1992.
[5] Świrski J.: Badania erozji popiołowej i ocena zużycia rur kotłowych wskutek jej działania. Prace Instytutu Energetyki, Zeszyt 1, Warszawa 1975.
[6] Świrski J.: Wytyczne projektowania kanałów spalinowych i powierzchni ogrzewalnych kotłów dla ochrony rur przed erozją popiołową. Opracowanie Instytutu Energetyki nr 10942, Warszawa 1974.
[7] Fehndrich W.: Verschleißuntersuchungen an Kesselrohren. Mitteilungen der VGB 49 (1969), H.1.
[8] Pronobis M.: Betriebsmäßige Methoden zur Vermeidung von Heizflächenerosionen. VGB Kraftwerkstechnik – w druku.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik CWYNAR

Wpłynęło do Redakcji: 10. 02. 1995 r.

Abstract

Primary NO_x reduction process in the furnace brings about the necessity of improvement of the coal grinding conditions (type of the mill and sifter, fineness of milled product) change significantly the surface and mean diameter of coal particles. The increase of fly ash fineness leads to the growth of radiative heat transfer coefficient and the enhancement of the heat transfer, especially in the furnace and radiative superheater area. The increase in coal fineness deteriorates to some extent the heat transfer in tube banks in consequence of higher fouling caused by the increased fly ash fineness. The enhancement of grinding quality brings about the reduction of erosive wear of the tubes. The decrease in erosion can reach ca. 40% using static sifter and ca. 60% by dynamic sifter.